

**Univerzita Karlova  
Přírodovědecká fakulta**

Studijní program: Geografie

Studijní obor: Sociální geografie a regionální rozvoj



**Bc. David Šulc**

**EVROPSKÉ LETECKÉ UZLY V KONTEXTU SÍTĚ A JEJÍ  
ODOLNOSTI VŮČI NARUŠENÍ**

**EUROPEAN AIR HUBS IN THE CONTEXT OF NETWORK AND ITS  
RESISTANCE AGAINST DISTURBANCES**

Diplomová práce

Vedoucí práce: doc. RNDr. Miroslav Marada Ph.D.

Praha, 2019

**Prohlášení:**

Prohlašuji, že jsem závěrečnou práci zpracoval samostatně a že jsem uvedl všechny použité informační zdroje a literaturu. Tato práce ani její podstatná část nebyla předložena k získání jiného nebo stejného akademického titulu.

V Praze, 14. dubna 2019

Podpis

**Poděkování:**

Děkuji svému vedoucímu práce panu doc. RNDr. M. Maradovi Ph.D. za cenné rady a konzultace v celém průběhu zpracování.

V Praze 14. dubna 2019

# EVROPSKÉ LETECKÉ UZLY V KONTEXTU SÍTĚ A JEJÍ ODOLNOSTI VŮČI NARUŠENÍ

## Abstrakt

Předkládaná diplomová práce se zabývá konektivitou evropské letecké sítě, jejími vlastnostmi a odolností vůči negativním vlivům, a to na základě dat z letových řádů za zimní období roku 2018. Hlavním cílem práce je analyzovat evropskou leteckou síť z hlediska konektivity, za účelem zjištění významnosti leteckých uzlů vzhledem k jejich geografickým podmínkám, komunitní struktuře a odolnosti celé sítě. Metodicky se práce opírá o teorii grafů a míry centrality jakožto ukazatele konektivity. Empirická část práce je rozdělena na tři části. Úkolem první části je zjistit, jaká letiště jsou v evropské letecké síti nejvýznamnější. V druhé části jsou zjišťovány vlastnosti a struktura sítě jako celku. Poslední část se zaměřuje na analýzu odolnosti evropské letecké sítě z pohledu robustnosti a resilience.

Mezi nejvýznamnější letecké uzly v Evropě patří letiště, která obsluhují světová města a turisticky významné lokality. Jedná se především o silnou dominanci letiště Schiphol v Amsterdamu, El Prat v Barceloně a letiště ve Frankfurtu nad Mohanem. Evropskou leteckou síť je možné klasifikovat jako tzv. „scale-free“ s hierarchickou strukturou podle počtu odbavených letů a tzv. „small-world“, ve které je možné se pohybovat s malým počtem přestupů. V síti se také vyskytují rozdílné komunity (podsítě) letišť. Z hlediska odolnosti je možné zachovat relativní funkčnost sítě do uzavření 60 % letišť. Nejzranitelnější částí evropské letecké sítě jsou letiště Barajas v Madridu a Charles de Gaulle v Paříži, které ve svém okolí nemají dostatečnou absorpční kapacitu. Dále je to oblast mezi letišti v Paříži, Bruselu, Amsterdamu a Frankfurtu.

**Klíčová slova:** letecká síť, konektivita, robustnost, resilience, teorie grafů, míry centrality

# **EUROPEAN AIR HUBS IN THE CONTEXT OF NETWORK AND ITS RESISTANCE AGAINST DISTURBANCES**

## **Abstract**

The submitted master thesis is addressing the theme of connectivity of European Air Transport Network, its properties and resistance against negative influences based on data from flight schedules for winter season 2018. The main objective of the thesis is to analyse European Air Transport Network from the point of connectivity in order to find out the most important airport hubs according to their geographic conditions, community structure and resistance of the whole network. Used methods are based on the Graph Theory and the centrality measures as indicators of connectivity. The empiric part of the thesis is divided into three parts. The aim of the first part is to find out, what airports are the most important in the European Air Transport Network. In the second part are explored properties and structure of the network. The last part is aiming to analyse the resistance of the European Air Transport Network from the view of robustness and resilience.

Among the most important air hubs in Europe belong airports, that are serving world cities and tourist attractive localities. There is a strong dominance of the Schiphol airport in Amsterdam, the El Prat airport in Barcelona and the Frankfurt Airport. The European Air Transport Network can be classified as scale-free with strong hierarchical structure based on the amount of flights, and small-world, where it is possible to move with a small number of transitions. In the network, there can be also identified different communities (subnetworks) of airports. According to the analysis of resistance, it is possible to maintain relative functionality of the network until the closure of 60 % of the airports. The most vulnerable part of the European Air Transport Network are the Barajas airport in Madrid and Charles de Gaulle airport in Paris, because in their surroundings there is not sufficient absorbing capacity. The next vulnerable part of the network lies in the area within the surroundings of airports in Paris, Brussels, Amsterdam and Frankfurt.

**Key words:** air transport network, connectivity, robustness, resilience, graph theory, centrality measures

## Obsah

|   |    |
|---|----|
| Seznam obrázků.....   | 8  |
| Seznam tabulek.....   | 8  |
| Seznam příloh.....  | 8  |
| Seznam zkratk.....  | 9  |
| Seznam vybraných IATA kódů letišť.....                                | 10 |
| 1. ÚVOD.....  | 12 |
| 2. LITERÁRNÍ REŠERŠE.....   | 14 |
| 2.1. Síť v letecké dopravě.....                                       | 14 |
| 2.2. Determinanty významnosti letišť.....                             | 20 |
| 2.2.1. Atraktivita měst.....  | 20 |
| 2.2.2. Charakteristika a vývoj evropské letištní sítě.....            | 22 |
| 2.3. Klasifikace letišť.....  | 27 |
| 2.4. Odolnost leteckých sítí.....                                     | 28 |
| 3. CÍLE A HYPOTÉZY.....   | 30 |
| 4. METODIKA.....  | 32 |
| 4.1. Míry konektivity a charakteristika jednotlivých uzlů.....        | 33 |
| 4.2. Strukturní charakteristiky sítě.....                             | 35 |
| 4.3. Komunitní struktura.....   | 36 |
| 4.4. Klasifikace uzlů.....  | 38 |
| 4.5. Odolnost sítě.....   | 39 |
| 5. INDIVIDUÁLNÍ CHARAKTERISTIKY LETIŠŤ.....                           | 42 |
| 5.1. Významnost letišť dle jednotlivých ukazatelů konektivity.....    | 42 |
| 5.1.1. Přímá konektivita.....   | 42 |
| 5.1.2. Vážená přímá konektivita.....                                  | 43 |
| 5.1.3. Mezilehlá konektivita.....                                     | 44 |
| 5.1.4. Linková konektivita.....                                       | 47 |
| 5.1.5. Transkontinentální lety.....                                   | 48 |
| 5.1.6. Globální dimenze (vnitroeuropejské i mimoevropské vztahy)..... | 51 |
| 5.1.7. Hodnocení letišť z hlediska všech charakteristik.....          | 52 |
| 5.2. Role letišť a jejich klasifikace.....                            | 56 |
| 6. CHARAKTERISTIKA EVROPSKÉ LETECKÉ SÍTĚ.....                         | 61 |
| 6.1. Topologické charakteristiky sítě.....                            | 61 |
| 6.1.1. Rozložení (vážené) přímé konektivity.....                      | 61 |
| 6.1.2. Průměrná délka cesty a shlukovací koeficient.....              | 63 |

|  |    |
|--|----|
| 6.2. Komunitní struktura evropských letišť ..... | 65 |
| 7. ODOLNOST EVROPSKÉ LETECKÉ SÍTĚ.....           | 70 |
| 7.1. Robustnost sítě.....                        | 70 |
| 7.2. Resilience sítě .....                       | 74 |
| 8. ZÁVĚR.....                                    | 78 |
| 9. ZDROJE .....                                  | 81 |
| 9.1. Literární zdroje .....                      | 81 |
| 9.2. Ostatní zdroje.....                         | 86 |
| PŘÍLOHY .....                                    | 88 |

## Seznam obrázků

|   |    |
|---|----|
| <b>Obr. 1:</b> Síť typu „point-to-point“ a „hub-and-spoke“ .....                            | 15 |
| <b>Obr. 2:</b> Znázornění grafu a výpočet měr konektivity .....                             | 34 |
| <b>Obr. 3:</b> Obsluhované destinace z letiště Václava Havla v Praze (PRG) .....            | 45 |
| <b>Obr. 4:</b> Obsluhované destinace z letiště Arlanda ve Stockholmu (ARN) .....            | 46 |
| <b>Obr. 5:</b> Obsluhované destinace z letiště Barajas v Madridu (MAD).....                 | 46 |
| <b>Obr. 6:</b> Rozložení letišť dle faktorových zátěží.....                                 | 56 |
| <b>Obr. 7:</b> Rozdělení letišť podle shluků.....   | 57 |
| <b>Obr. 8:</b> Rozložení letišť podle přímé konektivity – lineární funkce.....              | 62 |
| <b>Obr. 9:</b> Rozložení letišť podle vážené přímé konektivity – exponenciální funkce ..... | 63 |
| <b>Obr. 10:</b> Komunity evropských letišť .....  | 67 |
| <b>Obr. 11:</b> Změna průměrné délky cesty na podílu uzavřených letišť (%) .....            | 70 |
| <b>Obr. 12:</b> Změna podílu napojených letišť na podílu uzavřených letišť (%).....         | 71 |
| <b>Obr. 13:</b> Změna podílu přímých vztahů na podílu uzavřených letišť (%).....            | 73 |
| <b>Obr. 14:</b> Změna podílu přímých letů na podílu uzavřených letišť (%) .....             | 73 |
| <b>Obr. 15:</b> Překryvy absorpčních oblastí vybraných letišť .....                         | 77 |

## Seznam tabulek

|  |    |
|--|----|
| <b>Tab. 1:</b> Charakteristiky sítí.....   | 18 |
| <b>Tab. 2:</b> Charakteristika leteckých sítí podle regionů .....  | 19 |
| <b>Tab. 3:</b> Světová města v Evropě v roce 2018 .....  | 22 |
| <b>Tab. 4:</b> Vysvětlená variabilita faktorové analýzy .....  | 38 |
| <b>Tab. 5:</b> Faktorové zátěže jednotlivých proměnných po rotaci VARIMAX.....   | 39 |
| <b>Tab. 6:</b> Nejvýznamnější letiště podle přímé konektivity – $k_i$ .....  | 42 |
| <b>Tab. 7:</b> Nejvýznamnější letiště podle vážené přímé konektivity – $s_i$ .....                                     | 44 |
| <b>Tab. 8:</b> Nejvýznamnější letiště podle mezilehlé konektivity – $CB(i)$ .....                                      | 47 |
| <b>Tab. 9:</b> Nejvýznamnější letiště podle linkové konektivity – $C_c(i)$ .....                                       | 47 |
| <b>Tab. 10:</b> Letiště podle vážené přímé konektivity směřující mimo Evropu – $s_i$ .....                             | 48 |
| <b>Tab. 11:</b> Vztahy evropských letišť se světovými regiony - 1. část.....   | 49 |
| <b>Tab. 12:</b> Vztahy evropských letišť se světovými regiony - 2. část.....   | 50 |
| <b>Tab. 13:</b> Celková vážená přímá konektivita – $s_i$ .....   | 52 |
| <b>Tab. 14:</b> Průměrné hodnoty charakteristik podle shluků .....   | 60 |
| <b>Tab. 15:</b> Porovnání charakteristik s náhodnou sítí .....   | 64 |
| <b>Tab. 16:</b> Přehled 15 nejvýznamnějších letišť dle vážení přímé konektivity a jejich práh absorpční kapacity ..... | 75 |

## Seznam příloh

|  |    |
|--|----|
| <b>Příloha 1:</b> Souhrnné informace za vybraná letiště..... | 88 |
| <b>Příloha 2:</b> Míry konektivity za vybraná letiště .....  | 96 |



## Seznam zkratek

|       |   |
|-------|---|
| ACNL  | Nizozemská organizace pro koordinaci letišť (Airport coordination Netherlands)                |
| AECFA | Španělská asociace pro koordinaci letišť (Asociación Española de Coordinación y Facilitación) |
| BSC   | Belgická organizace pro koordinaci slotů (Belgium slot coordination)                          |
| ECAA  | společný evropský letecký prostor (European Common Aviation Area)                             |
| EU    | Evropská unie   |
| GaWC  | Globalization and World Cities  |
| IATA  | Mezinárodní asociace leteckých dopravců (International Air Transport Association)             |
| KLM   | Nizozemské královské aerolinie (Koninklijke Luchtvaart Maatschappij)                          |
| NNS   | nadnárodní společnost   |
| SF    | síť typu „scale-free“   |
| SW    | síť typu „small-world“  |
| USA   | Spojené Státy Americké  |

## Seznam vybraných IATA kódů letišť

|     |   |     |   |
|-----|---|-----|---|
| AGP | Málaga Costa del Sol Airport                            | LED | Pulkovo Airport                         |
| ALC | Alicante-Elche Airport                                  | LEJ | Leipzig/Halle Airport                   |
| AMS | Amsterdam Airport Schipol                               | LGW | Gatwick Airport                         |
| ARN | Stockholm Arlanda Airport                               | LHR | Heathrow Airport                        |
| ATH | Athens International Airport<br>"Eleftherios Venizelos" | LIS | Lisbon Airport                          |
| BCN | Barcelona El Prat Airport                               | LPA | Gran Canaria Airport                    |
| BMA | Stockholm Bromma Airport                                | LUX | Luxembourg Airport                      |
| BOD | Bordeaux-Mérignac Airport                               | LYS | Lyon Saint-Exupéry Airport              |
| BRU | Brussels Airport  | MAD | Adolfo Suárez Madrid-Barajas<br>Airport |
| BTS | M. R. Štefánik Airport                                  | MAN | Manchester Airport                      |
| BUD | Budapest Ferenc Liszt<br>International Airport          | MJV | Murcia–San Javier Airport               |
| BVA | Beauvais-Tillé Airport                                  | MMX | Malmö Airport                           |
| CDG | Charles de Gaulle Airport                               | MRS | Marseille Provence Airport              |
| CIA | Rome Ciampino Airport                                   | MUC | Munich Airport                          |
| CPH | Copenhagen Airport, Kastrup                             | MLP | Malpensa Airport                        |
| DME | Moscow Domodedovo Airport                               | NAP | Naples Airport                          |
| DUB | Dublin Airport  | NTE | Nantes Atlantique Airport               |
| DUS | Düsseldorf Airport                                      | NYO | Nyköping Airport                        |
| EDI | Edinburgh Airport                                       | ODS | Odessa International Airport            |
| FCO | Leonardo da Vinci-Fiumicino<br>Airport                  | ORY | Orly Airport                            |
| FRA | Frankfurt Airport                                       | OSL | Oslo Airport, Gardermoen                |
| GVA | Geneva Airport  | PMI | Palma de Mallorca Airport               |
| HAM | Hamburg Airport   | PRG | Václav Havel Airport Prague             |
| HEL | Helsinki-Vantaa Airport                                 | RIX | Riga International Airport              |
| IST | Istanbul Atatürk Airport                                | SNN | Shannon Airport                         |
| KBP | Boryspil International Airport                          | SOU | Southampton Airport                     |
| KEF | Keflavík International Airport                          | STN | London Stanstead Airport                |
|     |   | SVO | Sheremetyevo International<br>Airport   |

SXF Berlin Schönefeld Airport  
TFN Tenerife Norte Airport  
TFS Tenerife South Airport  
TLS Toulouse-Blagnac Airport  
TXL Berlin Tegel Airport  
VAR Varna Airport  
VCE Venice Marco Polo Airport

VIE Vienna International Airport  
VKO Vnukovo International Airport  
WAW Warsaw Chopin Airport  
WMI Warsaw Modlin Airport  
ZRH Zürich Airport  
ZTH Zakynthos International Airport  
"Dionysios Solomos"

# 1. ÚVOD

Předkládaná diplomová práce se zabývá problematikou odolnosti evropské letecké sítě, a to na základě konektivity a dalšími vlastnostmi sítě s využitím teorie grafů. Letecká doprava je v dnešní době nejmodernějším a nejrychlejším druhem dopravy. Díky ní je možné přepravovat velké množství lidí a zboží rychle a efektivně, a to na velké vzdálenosti. Stává se tak kritickou infrastrukturou fungování světové ekonomiky.

Její důležitost pro světovou ekonomiku ji činí náchylnou vůči narušení negativními vlivy. Samotná letiště, tvořící uzly letecké sítě, jsou pak kritickým prvkem letecké dopravy. Jakožto terminály, kde se setkávají různé formy informací či proudů, ovlivňují funkčnost celé letecké sítě. V nedávné historii je možné sledovat několik událostí, které značně omezily leteckou dopravu. Tyto události je možné kvantifikovat v rozsahu nedostupnosti letů i finančních nákladů. Výbuch islandské sopky Eyjafallajökull 14. března 2010 způsobil vážné omezení letecké dopravy v Evropě, které je možné vyčíslit na 1,7 mld. dolarů (Mazzocchi a kol. 2010). V únoru 2010 zasáhla sněhová bouře východní pobřeží USA s odhadovanou hodnotou ztráty 80–100 mil. dolarů (Dunn a Wilkinson 2016).

Na odolnost sítě lze pohlížet negativním, ale i pozitivním náhledem. Letiště, jakožto kritické body letecké sítě, fungují jako mosty pro různé druhy informací. Na jedné straně, zde proudí velké množství cestujících a zboží, jejichž pohyb v rámci letecké sítě může být ztížen či úplně znemožněn negativně vnímanou událostí např. vyřazení letiště přírodní katastrofou, teroristických útokem nebo stávkou zaměstnanců. Cílem odolnosti sítě je pak znát kritické body a snažit se o co nejmenší ztrátu informace. Na druhé straně jsou události, při kterých je výhodné znát kritická místa sítě a zpomalit či zastavit šíření informace cíleným vyřazováním kritických bodů sítě. Příkladem tak může být vypuknutí epidemie a její šíření pomocí letecké dopravy.

Na následky negativních událostí má vliv význam jednotlivých letišť pro danou leteckou síť, dále pak struktura a vlastnosti letecké sítě. Nejkritičtějšími body jsou nejvytíženější letiště, ale jsou to také letiště, která mají významnou polohu z hlediska propojování leteckých regionů. Struktura a vlastnosti sítě určují, jak je informace (negativní či pozitivní) průchodná. Cílem této práce je tak zjistit postavení jednotlivých letišť v rámci evropské letecké sítě, vlastnosti evropské letecké sítě jako celku a na jejich základě určit odolnost vůči negativním vlivům. Pro analýzu konektivity a jejích ukazatelů byl využit volně dostupný software Gephi.

Práce je tak strukturovaná následovně. První část tvoří teoretické zarámování konektivity, determinantů ovlivňující významnost letišť a odolnosti letecké sítě. Z této části vychází konkrétní definování cílů a formulování hypotéz. Třetí částí je metodické rozpracování studované problematiky. Empirická část je rozdělena na tři významnější celky. Jedná se o individuální charakteristiky letišť zakončené syntézou poznatků a přiřazení rolí jednotlivým letišťům. Dále je to charakteristika evropské letecké sítě jako celku, a to z pohledu vlastností a komunitní struktury. Poslední kapitola empirické části se zabývá vlastní odolností sítě z pohledu robustnosti a resilience.

## 2. LITERÁRNÍ REŠERŠE

### 2.1. Sítě v letecké dopravě

Pojem **sít'** (z angl. network) můžeme chápat jako soustavu cest propojující lokace, zvané také **uzly** (z angl. node). Cesta funguje jako spojení mezi dvěma uzly, které mohou představovat např. města nebo dopravní terminály, v případě cest např. silnice, železnice či letecké a lodní koridory. V dopravní geografii můžeme identifikovat několik typů dopravních sítí. Centralizovaná síť je typická jedním výrazně dominantním uzlem. Decentralizovaná síť je taková, kde část dominance hlavního uzlu přebírají menší okolní uzly v síti. Nakonec rozptýlená síť dopravních uzlů, kde žádný uzel není výrazně dominantní oproti ostatním (Rodrigue a kol. 2017). Běžným typem sítí v dopravě je síť typu „point to point“, která je charakteristická velkým počtem přímých spojení a síť typu „hub-and-spoke“, která je kombinací „point-to-point“ sítě a přestupů v centrálním uzlu („hub“)<sup>1</sup>.

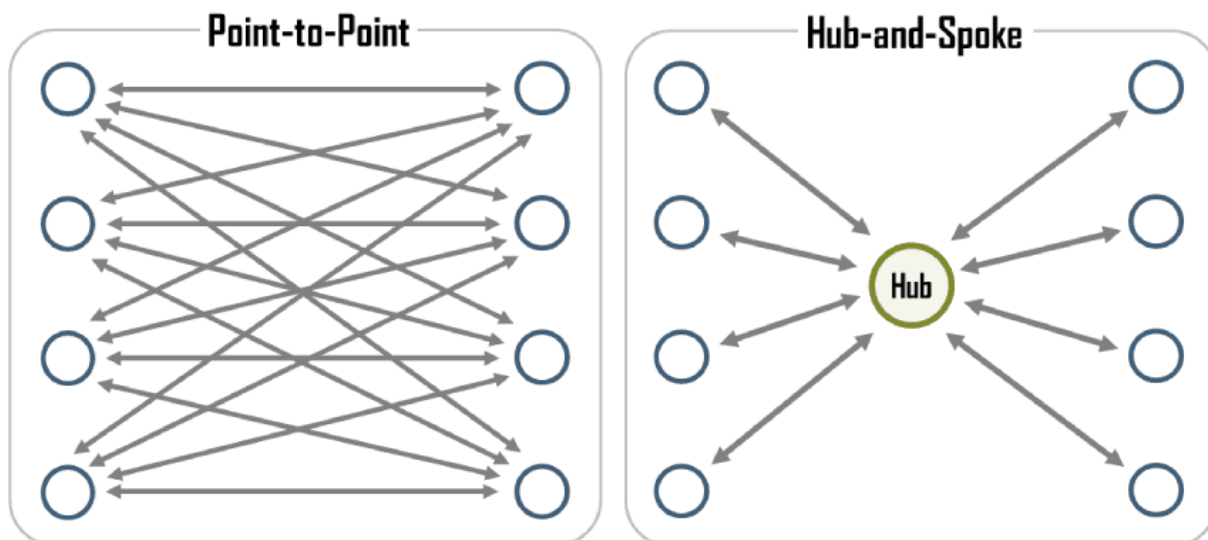
Síť „hub-and-spoke“ je typická pro leteckou dopravu, přičemž začala dominovat po deregulaci letecké dopravy v USA v roce 1978 (Hoyle a Knowles 1998). Díky tomu jsou letecké společnosti schopné v uzlovém letišti nabídnout širší variaci destinací, ve větších denních frekvencích (Burghouwt a Hakfoort 2001). Dochází tak ke koncentraci v prostoru i čase (Reynolds-Feighan 2001). Jako další výhody tohoto typu sítě jsou snižování nákladů pro aerolinky, zvyšování kvality infrastruktury a umožňuje lepší distribuci v rámci sítě. Na druhou stranu přináší i řadu nevýhod jako je náchylnost sítě k narušení, zpoždění letů v uzlových letištích kvůli kongescím (Rodrigue a kol. 2017) a marginalizaci neuzlových letišť (Malighetti a kol. 2008). Rozdíl mezi sítěmi typu „point-to-point“ a „hub-and-spoke“ v počtu tras a množstvím obslužených destinací zobrazuje Obr. 1. Zde vidíme, že síť typu „point-to-point“ zahrnuje 16 nezávislých spojení, kdežto síť typu „hub-and-spoke“ potřebuje pouze 8 spojení při zachování stejné konektivity. Růst počtu dosažitelných destinací mezi dvěma letišti napojené na uzlové letiště je exponenciální (Doganis 2010). Ačkoli v uzlovém letišti přestupy tvoří značnou část letů, jsou uzlová letiště stále vysoce závislá na přímých spojeních, jejichž zvyšování ovlivňuje i přestupní lety. Většina uzlových letišť je tak lokalizována v regionech s rozsáhlým místním leteckým trhem (Liu a kol. 2006;), mluvíme tak o **generativní dimenzi** (Rodríguez-Déniz a kol. 2013). V kontextu letecké dopravy a deregulace lze síť chápat jako přirozený důsledek strategií jednotlivých aerolinií

---

<sup>1</sup> v této práci je termín „hub“ chápán jako uzlové letiště z pohledu letecké společnosti

a jednotlivých letišť (Malighetti a kol. 2008). Uspořádání typu „hub-and-spoke“ vytváří v rámci sítě leteckých spojů hierarchii letišť.

**Obr. 1:** Sítě typu „point-to-point“ a „hub-and-spoke“



Zdroj: Rodrigue a kol. 2017

Tradiční velikostní charakteristiky letišť (počet cestujících nebo počet letů) často podceňují důležitost dostupnosti z konkrétního letiště, kdy není brán zřetel, na které letiště je napojeno. Pokud je menší regionální letiště napojeno na významné uzlové letiště, a to i pouze jedním letem, může takové letiště dosahovat mimořádně kvalitní dostupnosti (Burghouwt a Redondi 2013). Důležitost sítě je tak spojena i s její konektivitou – **konektivní dimenze**. Konektivita může být definována jako rozsah uzlů, kterých je možno dosáhnout z daného uzlu buď přímo nebo nepřímo skrz další uzly. Podle autorů (Malighetti a kol. 2008) můžeme rozlišovat dva základní pohledy na konektivitu. Za prvé je to pohled přímé a nepřímé konektivity, který uvažuje počet a kvalitu přímých a nepřímých leteckých spojení dostupných z konkrétního letiště. Druhý pohled se kouká na konektivitu jako na centralitu nebo také přestupní konektivitu, která měří počet přestupních příležitostí přes určité letiště. Konektivitu můžeme vyjádřit jako matici vztahů mezi jednotlivými uzly, ve které se počet řádků a sloupců rovná počtu uzlů v síti.

Mnoho prací zabývajících se konektivitou v letecké dopravě, ale i v jiných sítích je založena na teorii grafů. Každý graf neboli síť si lze představit jako soubor uzlů a spojení mezi nimi, kde uzly (letiště) tvoří vrcholy, spojení mezi sousedními uzly (existující let) tvoří hrany a spojení sousedních nebo nesousedních uzlů tvoří cestu. Operace vycházející z teorie grafů pak nazýváme síťovou analýzou. Pro analýzu vztahů v rámci sítě je využíván koncept centrality, která vyjadřuje důležitost jednotlivých uzlů v síti. Tento koncept se rozvinul

v sociologii a postupně se přesunul i do dalších oborů. Dle Freemana (1979) můžeme uvést 3 základní míry centrality<sup>2</sup>, ke kterým je uveden český ekvivalent konektivity pro tuto práci: **Degree centrality (přímá konektivita)**, která udává počet přímých vazeb, který je dán počtem hran vycházejícího z daného uzlu; **Betweenness centrality (mezilehlá konektivita)**, která udává kolik cest spojující uzel A a B prochází skrz uzel H, přičemž uzly A a B nemají přímé spojení; **Closeness centrality (linková konektivita)**, která udává vzdálenost daného uzlu od všech ostatních uzlů v síti, vyjádřenou počtem hran. Jedná se tedy o nejmenší hodnotu součtu hran přímo i nepřímo napojených uzlů.

V rámci letecké dopravy vyjadřuje *přímá konektivita* aktivitu jednotlivých letišť a reflektuje tak důležitost letiště ve vztahu ke konektivitě a obslužnosti. *Vážená přímá konektivita* se pak odráží i ve velikosti letiště, kterou lze sledovat např. počtem letů mezi dvěma letišti. *Mezilehlá konektivita* nám ukazuje významnost letiště jako potenciální přestupního uzlu nebo jako most mezi rozdílnými leteckými regiony. V prvním případě budou hodnoty *mezilehlé konektivity* odrážet hodnoty *přímé konektivity*, v druhém případě mohou být hodnoty *přímé konektivity* malé a *mezilehlé konektivity* vysoké, jak bylo prokázáno v celosvětové letecké dopravní síti nebo australské letištní síti (Guimera a kol. 2005; Hossain a kol. 2013). V jistém smyslu tato letiště kontrolují tok informace v síti, kdy mohou fungovat jako brána nebo zátvara. Nakonec *linková konektivita* vyjadřuje průměrnou vzdálenost, měřenou počtem linek (letů) nutných k dosažení všech ostatních letišť, jinými slovy se jedná o dostupnost letiště. Na této míře můžeme sledovat periferiálnost letišť v rámci letecké sítě.

Teorii grafů lze využít na hodnocení sítě z pohledu uzlů, ale i z pohledu sítě jako celku. Na rozdíl od měr centrality, které měří postavení uzlu v síti, je na úrovni celé sítě sledována její topologie. Jedná se o tři základní charakteristiky, z nichž jeden lze hodnotit i na úrovni uzlů: **Degree distribution (rozložení přímé konektivity)**, která ukazuje pravděpodobnostní rozložení hodnot přímé konektivity v rámci sítě (Barabási a Albert 1999); **Average path length (průměrná délka cesty)**, jakožto průměrná vzdálenost mezi všemi uzly v síti vyjádřená nejmenším počtem absolvovaných cest (Watts a Strogatz 1998); **Clustering coefficient (shlukovací koeficient)**, což je hodnota vyjadřující, do jaké míry se uzly v síti shlukují, tedy mají podobné vazby. Lze rozlišit 2 druhy – lokální a globální. Lokální shlukovací koeficient nám říká, jaká je pravděpodobnost, že jsou uzly vzájemně

---

<sup>2</sup> Tyto míry centrality jsou podrobněji rozebrány v metodické části



propojené na základě jejich ostatních vazeb. Globální (průměrný) shlukovací koeficient pak udává hodnoty za síť jako celek vyjádřený jako průměr všech lokálních shlukovacích koeficientů (Watts a Strogatz 1998).

*Rozložení přímé konektivity* reflektuje topologii a velikostní (významové) rozložení letišť v síti a zároveň naznačuje, jak síť historicky vznikala. Nové uzly mají totiž tendenci vznikat napojením na již existující významné uzly (Rodrigue a kol. 2017). Hodnota *průměrné délky cesty* nám udává průměrnou vzdálenost, vyjádřenou počtem letů, mezi všemi letišti v síti. Vysoká hodnota znamená větší vzdálenosti a nevyzrálou síť, naopak nízká hodnota značí lepší dostupnost a větší propojení letišť, takovéto síť můžeme označit za vyzrálou. Podle *shlukovacího koeficientu* lze určit pravděpodobnost, že dvě letiště napojené přímým letem na třetí letiště jsou přímým spojením propojené i mezi sebou. Čím vyšší hodnota, tím je pravděpodobnější, že se lze v rámci sítě pohybovat s menším počtem přestupů. Zároveň vysoké hodnoty *shlukovacího koeficientu* značí výskyt **komunit**. Jako komunity jsou v sítích označovány hustě propojené uzly na základě vnitřní homogenity a vnější heterogenity. Jinými slovy se jedná o shluky uzlů, jejichž vztahy jsou uvnitř komunity silnější, než jejich vztahy směřující mimo svoji komunitu (Newman a Girvan 2002).

Na základě těchto tří charakteristik můžeme sestavit různé typy sítí (Erdős a Rényi 1959; Watts a Strogatz 1998; Barabási a Albert 1999). Za prvé se jedná o *pravidelnou síť*, ve které má každý uzel stejný počet sousedů. V této síti jsou běžné velké průměrné vzdálenosti mezi všemi uzly, ale také dochází k velkému shlukování a díky stejné velikosti všech uzlů dochází k interakci „point-to-point“. Za druhé je to *náhodná síť*, kdy mezi již existujícími uzly začínou náhodně vznikat hrany. Taková síť dosahuje krátkých průměrných vzdáleností mezi všemi uzly, které se shlukují jen minimálně. Distribuce velikosti uzlů je binomická či poissonovo (Erdős a Rényi 1959). Tyto dva typy sítí lze považovat za krajní případy, mezi nimiž lze sestavit třetí a čtvrtý typ sítě „*small-world*“ (*SW*) a „*scale-free*“ (*SF*), které se vzájemně nevylučují a je často možné najít jejich kombinaci. Ve „*Small-world*“ síti většina uzlů není sousedních, ale je možné jich dosáhnout malým počtem hran. K vytvoření můžeme vycházet z pravidelné sítě přepojením (optimalizací) již existujících hran. Ve skutečném světě je tento typ sítě velmi častým a lze ho najít např. v síti internetu či genových sítích. „*Scale-free*“ síť se vyznačuje silnou hierarchickou strukturou, kdy existuje málo uzlů s velkým počtem hran a mnoho uzlů s malým počtem hran. Pro tuto síť je typická podřízenost uzlů nižšího řádu uzlům vyššího řádu a tzv. „bezškálovost“ je dána

neurčeným rozmezím velikosti uzlu. V praxi je tento vztah vyjádřen mocninnou funkcí, tedy velikost klesá stejnou velikostí exponentu. „Scale-free“ síť vzniká napojováním nových uzlů na již existující (Watts a Strogatz 1998; Barabási a Albert 1999). Rozdíl mezi „small-world“ a „scale-free“ sítí je shlukování, kdy uzly ve „scale-free“ síti se shlukují méně než ve „small-world“ síti, a to vlivem uzlů s vysokou hodnotou přímé konektivity, které snižují hodnotu shlukovacího koeficientu, která je ovšem v porovnání s náhodnou sítí stále vysoká. Naopak oba typy síti spojují krátké průměrné vzdálenosti mezi všemi uzly a výskyt důležitých uzlů, spojující různé shluky (Newman a kol. 2006). Souhrnný přehled typu síti se nachází v Tab. 1.

**Tab. 1:** Charakteristiky síti

| Síť         | Prům.<br>délka cesty | Shlukovací<br>koeficient | Rozložení přímé konektivity            |
|-------------|----------------------|--------------------------|--|
| Pravidelná  | dlouhá               | vysoký                   | Point-to-point                         |
| Náhodná     | krátká               | nízký                    | Binomické nebo poissonovo<br>rozdělení |
| Small-world | krátká               | vysoký                   | Exponenciální nebo<br>mocninná funkce  |
| Scale-free  | krátká               | vysoký                   | Mocninná funkce                        |

*Zdroj: Wang a kol. 2011*

V letecké dopravě se studiem síti z pohledu teorie grafů zabývalo již několik autorů. Jako i jiné sítě ve skutečném světě patří letecká doprava k sítím typu „small-world“ a v některých případech i k sítím typu „scale-free“. Přehled jednotlivých prací a indikátorů síti je uveden v Tab. 2. Autoři (Guimerá a kol. 2005) analyzovali globální strukturu celosvětové letecké dopravní sítě. Jejich letecká síť byla, na rozdíl od jiných prací, tvořena městy s agregovanými hodnotami za všechny letiště příslušící danému městu. V této analýze došli k závěru, že nejcentrálnější města, z hlediska hodnoty betweenness (mezilehlé konektivity), nemusí být vždy ta nejvíce napojená města, dle hodnot degree (přímé konektivity). Toto zjištění je velice důležité, jelikož v podobných sítích (např. internet) se tyto anomálie, jak to autoři nazývají, nevyskytují. Navíc nejvíce centrální nody hrají klíčovou roli v difúzi nebo kongesci. Z hlediska územního rozložení je nejvíce napojených měst v západní Evropě a v Severní Americe, naopak města představující centrální nody můžeme najít napříč všemi kontinenty. Nejvýraznějším příkladem je město Port Moresby (Papua-Nová Guinea), či Anchorage (USA), které slouží jako velice důležitý uzel mezi

aljašskými letišti a ostatními letišti USA a Kanady. Aljašská letiště ve většině případů mají spojení jen mezi sebou, a tudíž Anchorage slouží jako most spojující dva letecky, ale i geograficky rozdílné regiony. Tato letiště lze považovat za uzlová letiště místních komunit. Z hlediska indikátorů lze oproti jiným leteckým sítím sledovat vyšší hodnotu průměrné délky cesty. V průměru 4,4 přestupů chceme-li se dostat z jakéhokoliv místa A na jakékoliv místo B. Hodnota je důsledkem celkové velikosti sítě.

Italskou letištní síť zkoumali autoři (Guida a Maria 2007; Guida a kol. 2008), ti kromě již výše uvedené „small-world“ a „scale-free“ sítě zjistili, že je navíc síť fraktální, tedy v různých měřítcích se opakující. Fraktální struktura představuje vyšší robustnost sítě vůči cíleným „útokům“ na nejvýznamnější letiště. Nízké hodnoty shlukovacího koeficientu odrážejí malé zastoupení letišť a absenci komunit.

Zajímavých výsledků dosáhli i autoři (Wang a kol. 2011) při své analýze čínské sítě letecké dopravy. Autoři došli k závěru, že na rozdíl od ostatních leteckých sítí lze tu čínskou klasifikovat pouze jako „small-world“. Takováto struktura je typická pro dominanci několika velkých letišť, nejčastěji v rozvojových zemích. V případě Číny se jedná konkrétně o 3 největší letiště – Peking, Shanghai a Guangzhou – na které jsou napojená ostatní letiště, kterým na druhou stranu chybí napojení na letiště menších center.

Mezi další práce zabývající se letištními sítěmi z pohledu teorie grafů patří analýza sítě USA (Xu a Harriss 2008) a Indie (Bagler 2008).

**Tab. 2:** Charakteristika leteckých sítí podle regionů

| Region | Počet letišť | APL (L) | CC (C) | Sít'ová struktura |
|--------|--------------|---------|--------|-------------------|
| Svět   | 3883         | 4,4     | 0,62   | SF SW             |
| Itálie | 50           | 1.98    | 0,07   | SF SW Fraktální   |
| USA    | 272          | 1.84    | 0,73   | SF SW             |
| Indie  | 79           | 2.26    | 0,66   | SW                |
| Čína   | 144          | 2.23    | 0,69   | SW                |

*Zdroj: Guimerá a kol. 2005; Guida a Maria 2007; Bagler 2008; Xu a Harriss 2008; Wang a kol. 2011*

## **2.2. Determinanty významnosti letišť**

Faktory, které determinují určitá letiště k tomu být významná můžeme rozdělit do dvou skupin, a to na atraktivitu měst a na strategická rozhodnutí leteckých společností a letišť. Pod atraktivitu měst spadá především populační velikost, ekonomická síla, vertikální poloha města v rámci státu, kontinentu a světa a turistická atraktivita. Tyto faktory představují zhruba 64 % variabilitu významnosti letišť (Dobruszkes a kol. 2011). Následující podkapitola nejdříve shrne první skupinu faktorů a nastíní především významnost měst z hlediska postavení mezi světovými městy a turistické atraktivity. Druhá podkapitola pak vysvětlí druhou skupinu faktorů z hlediska charakteristiky a vývoje evropské letecké sítě. Tento vývoj totiž v sobě odráží jak prvky atraktivity měst, tak i strategická rozhodnutí aerolinií a letišť.

### **2.2.1. Atraktivita měst**

Významnou důležitost v rámci jakékoliv dopravní sítě mají samozřejmě města. Většina letišť obsluhuje alespoň jedno město a v některých případech se může jednat o obsluhu celého regionu. Z tohoto důvodu lze usuzovat, že jedním z faktorů, ovlivňujících velikost a významnost daného letiště, je významnost či atraktivita samotného obsluhovaného města nebo regionu. Atraktivitu města můžeme sledovat z několika pohledů. Dvěma nejvíce relevantními pohledy, z hlediska letecké dopravy, jsou globální významnost a turistická atraktivita.

Většina autorů zabývajících se geografii osídlení se shoduje v tom, která města lze považovat za nejvýznamnější světová města. Jedná se např. o Londýn, New York, Paříž či Tokio. Peter Hall (1966, cit. v Taylor a kol. 1999, s. 446) považuje tato města za světová z důvodu jejich moci a vlivu v oblastech jako politika, obchod, média, finančníctví, vzdělávání, kultura a technologie. Také umístění hlavních ústředí nadnárodních společností (NNS) v těchto městech je významným faktorem důležitosti světových měst. Hlavním důvodem je geografická blízkost a potřeba blízkého styku mezi společnostmi, vládou a dalšími médii (Hymer 1972, cit. v Taylor a kol. 1999, s. 446). John Friedmann (1986) pak světovým městům přisuzuje kromě sídla hlavních ústředí (NNS), také roli finančních center, rychlý růst sektoru služeb a obchodu, nacházejí se zde sídla mezinárodních institucí, hlavní dopravní terminály a jsou i populačně významná. To vše vztahuje k nové mezinárodní dělbě práce. Díky globalizaci ekonomických aktivit a organizační struktuře výrobních služeb a finančního odvětví, fungují světová města jako řídicí body v globální ekonomice (Sassen 1991, cit. v Taylor a kol. 1999, s. 447-448).

Dnes jednu z nejvýznamnějších klasifikací světových měst provedli autoři Taylor a kol. (1999). „*Globalization and World Cities (GaWC)*“, jak se tato klasifikace v angličtině nazývá, sestavuje žebříček světových měst podle přítomnosti nejvýznamnějších společností ze čtyř kategorií: účetnictví, reklama, bankovníctví a právníctví. V této klasifikaci jsou tak nepřímo zohledněny výše zmíněné faktory – populační velikost, ekonomická síla i vertikální poloha. Výsledkem je rozdělení na města ALFA, BETA a GAMA.

Alfa města lze označit jako globálního poskytovatele služeb ve všech čtyřech kategoriích, a alespoň ve dvou kategoriích musí tato města excelovat v jejich poskytování. Tato světová města propojí nejvýznamnější regiony světa na globální úroveň. Beta města jsou globálním poskytovatelem služeb alespoň ve třech kategoriích a musí excelovat nebo být významným poskytovatelem alespoň ve dvou kategoriích. Úkolem těchto měst je propojení středně významných regionů do globální úrovně. Jako gama města jsou označována ta města, která fungují jako globální poskytovatel služeb alespoň ve dvou kategoriích a musí být významným poskytovatelem nejméně v jedné kategorii. Pro tato města je typické, že spojují malé ekonomické regiony s globální ekonomikou. Všechna rozdělení lze dále označit jako + nebo - (např. Alfa+, Beta -) z hlediska jejich zapojení do světové ekonomiky. Výjimku tvoří Alfa++, kdy se jedná o nejvíce integrovaná města v globální ekonomice. Rozdělení světových měst v Evropě ukazuje Tab. 3.

Turistická atraktivita měst je spojena s uspokojením a dobrou zkušeností turistů v oblastech městského životního stylu, ulic, lidí, památek, hotelů, restaurací atd. Dalším důležitým kritériem atraktivity je čas, který turisté stráví v daném městě. Města spíše fungují jako počáteční a konečná destinace turistů v regionu. Pro města jsou typické 1-2denní přenocování, krátkodobá turistika (3-4 dny), ale i dlouhodobá turistika delší než 4 dny (Valls a kol. 2014). Mezi evropskými městy jasně dominují Londýn a Paříž, tato centra dominují ve všech oblastech turistiky. Řím, Barcelona, Berlín, Madrid a Amsterdam jsou dalšími významnými turistickými městy ve všech oblastech, avšak již méně. Města specializovaná na určitý druh turistiky jsou Benátky, Florencie, Hamburg, Mnichov a Lisabon. Mezi další turisticky významná města lze zařadit Milano, Athény, Vídeň, Praha, Frankfurt, Valencie a Dublin. Rozdíl můžeme hledat i v atraktivitě pro domácí a zahraniční turisty. Mezi domácími turisty jsou nejvíce oblíbený Hamburg, Florencie a Berlín. Na opačném konci stojí Barcelona, Amsterdam a Madrid (Valls a kol. 2014). Pokud se podíváme pouze na kulturní turistiku, tedy především historické památky, tak

nejatraktivnější města jsou Řím a Athény. Dále můžeme říci, že města na jihu jsou obecně atraktivnější než severská města (van der Ark a Richards 2006).

**Tab. 3:** Světová města v Evropě v roce 2018

| <b>ALFA ++</b> | <b>ALFA +</b> | <b>ALFA</b>    | <b>ALFA -</b> | <b>BETA +</b> | <b>BETA</b> | <b>BETA -</b> |
|----------------|---------------|----------------|---------------|---------------|-------------|---------------|
| Londýn         | Paříž         | Brusel         | Amsterdam     | Athény        | Berlin      | Antwerpy      |
|                |               | Frankfurt      | Barcelona     | Bukurešť      | Kyjev       | Bělehrad      |
|                |               | Istanbul       | Budapešť      | Kodaň         | Oslo        | Birmingham    |
|                |               | Madrid         | Dublin        | Düsseldorf    | Sofie       | Bratislava    |
|                |               | Miláno         | Lisabon       | Hamburg       | Záhřeb      | Edinburg      |
|                |               | Moskva         | Lucemburk     |               |             | Ženeva        |
|                |               | Varšava        | Mnichov       |               |             | Helsinki      |
|                |               | Curych         | Praha         |               |             | Lyon          |
|                |               |                | Řím           |               |             | Manchester    |
|                |               |                | Stockholm     |               |             | Nikósie       |
|                |               |                | Vídeň         |               |             | Stuttgart     |
|                |               |                |               |               |             | Valencie      |
| <b>GAMMA +</b> | <b>GAMMA</b>  | <b>GAMMA -</b> |               |               |             |               |
| Glasgow        | Belfast       | Kolín          |               |               |             |               |
| Riga           | Bilbao        | Minsk          |               |               |             |               |
| Rotterdam      | Bristol       | Nante          |               |               |             |               |
|                | Ljublaň       | Poznaň         |               |               |             |               |
|                | Porto         | Tirana         |               |               |             |               |
|                | Petrohrad     | Wroclav        |               |               |             |               |
|                | Tallin        |                |               |               |             |               |
|                | Turín         |                |               |               |             |               |
|                | Vilnius       |                |               |               |             |               |

Zdroj: GaWC 2018

### 2.2.2. Charakteristika a vývoj evropské letištní sítě

První odborné práce zabývající se charakteristikou a vznikem letecké sítě můžeme datovat do období po deregulaci v odvětví letecké dopravy v USA, tedy po roce 1978. V této době většina tradičních aerolinií přešla od systému „point-to-point“ na systém kyvadlový „hub-and-spoke“ v uzlových letištích. Naopak nízkonákladové společnosti stále zachovávají uspořádání „point-to-point“ strategii. Jejich konkurenční výhoda tak tkví jak v nižší ceně, tak i např. kratší dobou cestování nebo malým ohrožením zpožděných letů. Deregulace dále umožnila aerolinkám alokovat zdroje dle jejich uvážení a tím se podílet na vytváření trhu. Počet prací zabývajících se tímto tématem v kontextu evropské letecké sítě je výrazně méně než v USA. Právě odborné publikace z USA lze považovat za průkopnické a jejich srovnávání s nimi je typickým znakem pro práce zabývající se Evropskou leteckou sítí.

Adopce systému „hub-and-spoke“ není v Evropě tak výrazná jako v USA. Podle Berechman a de Wit (1996) a Nijkamp (1996) je to zapříčiněno několika důvody. Za první

se jedná o kratší vzdálenosti v Evropě, a z toho důvodu dochází k menší koncentraci do uzlových letišť v rámci přepravy po Evropě. Dalším důvodem je silná konkurence od dalších druhů přepravy, především vysokorychlostní železnice. Třetím důvodem jsou národní zájmy států, které stojí v cestě k vytvoření několika výrazně dominantních uzlových letišť, sloužících pro leteckou dopravu v rámci Evropy.

Prací zabývající se touto problematikou v Evropě je v porovnání s USA poskrovnou. Jednu z významných prací zabývající se vývojem po deregulaci v Evropě, která započala v roce 1988 a byla kompletní v roce 1997, vytvořili autoři Burghouwt a Hakfoort (2001). Ti potvrzují, že došlo k adopci systému „hub-and-spoke“. Během zkoumaného období (1990-1998) došlo v průměru k nárůstu frekvence letů, a to především mezi letišti „hub-hub“, „hub-spoke“ a některými letišti „spoke-spoke“. Mezi dalšími letišti „spoke-spoke“ byl zaznamenán dokonce pokles frekvence letů. Dále došlo ke koncentraci mezikontinentálních letů do čtyř uzlových letišť (Heathrow v Londýně, letiště ve Frankfurt, Charles de Gaulle v Paříži a Schiphol v Amsterdamu). Za touto koncentrací stojí primárně vytvoření leteckých aliancí, kdy Heathrow slouží jako primární letiště pro alianci Oneworld, Frankfurt pro Star alliance, Charles de Gaulle pro alianci Air France/Delta a Schiphol pro alianci Northwest/KLM<sup>3</sup>. Dalším zjištěním je zvýšení podílů letů malých a velmi malých letišť z 20 % na 28 %. To svědčí o vstupu nových nízkonákladových dopravců, kteří si vybírají převážně malá letiště.

Druhou významnou prací je publikace *Airline Network Development in Europe and its Implication for Airport Planning* (Burghouwt 2007). Tato publikace je do této doby jediná takového rozsahu. Dle autora lze v Evropě nalézt především tři kategorie uzlových letišť. První kategorií takového uzlového letiště jsou tzv. eurohuby (Dennis 1994), které se váží na leteckou dopravu v rámci Evropy. Druhou kategorií jsou letiště sloužící jako specializované „huby“ pro určitý geografický region mimo evropský kontinent. Třetí kategorií jsou tzv. globální „huby“, které obsluhují širší spektrum mezikontinentálních letů. Lze shrnout, že za vývojem evropské letecké sítě z hlediska politiky v odvětví stojí především 4 faktory:

---

<sup>3</sup> od roku 2000 alianci Air France/Delta a několik dalších menších aliancí vytvořili novou alianci SkyTeam, od roku 2004 je součástí také alianci Northwest/KLM (SkyTeam 2018)

## **1. Politika letecké dopravy**

Pro období mezi 2. světovou válkou a koncem 80. let jsou pro letecký trh v Evropě typické bilaterální smlouvy ve stylu quid-pro-quo („něco za něco“), které byly založené na oboustranné výměně stejných práv. Tyto smlouvy stanovovaly frekvence letů, přepravní tarify, kapacitu sedadel, přepravní práva, počet aerolinek obsluhující lety mezi zainteresovanými státy a obsluhu určitých měst. Lety mezi dohodnutými státy nejčastěji zajišťovaly národní „vlajkové“ společnosti, které měly sídlo na letištích národních center. To vedlo k vytvoření uzlových letišť, které v dnešní době tvoří „huby“ (uzlová letiště) v síti typu „hub-and-spoke“. Dalším významným aktérem podílejícím se na regulaci je mezinárodní organizace sdružující aerolinky (IATA), která stanovovala roční přepravní tarify. Po roce 1988 se začal evropský letecký trh postupně uvolňovat a došlo k vytvoření společného evropského letového prostoru (ECAA<sup>4</sup>), avšak vázané pouze na lety v rámci Evropské Unie. Od roku 2002 se všechny smlouvy s mimo evropskými státy vztahují automaticky i na všechny členy EU (Evropská komise 2015). V tomto období (1988–2002) evropské aerolinky operovaly ve dvou rovinách – rovina vnitřního volného trhu EU a rovina bilaterálních smluv jednotlivých států se zeměmi mimo EU – což vedlo k vytvoření sítě, která nebyla prostorově a částečně i časově ideální.

## **2. Prostorová a časová koncentrace, úspory z rozsahu a strategie leteckých společností**

V odvětví letecké dopravy jsou úspory z rozsahu (počet obsluhovaných letišť) na úrovni celé sítě poměrně zanedbatelné. Úspory se tak projevují především na úrovni jednotlivých tras. Nižších nákladů zde aerolinky dosahují zvyšující se kapacitou letadel pro cestující i náklad či zvyšující se vzdáleností doletu. I přes tyto úspory dochází ke koncentraci letů do uzlových letišť a k vytvoření hierarchické struktury letištních uzlů v síti. Za prvé, je to dáno geograficky diferenciovanou poptávkou z hlediska objemu i struktury. Druhým důvodem koncentrace do uzlových letišť je koncentrace přidružených aktivit jako je údržba letadel, výměna posádky, přítomnost letového parku a fixní letištní náklady na odbavení. Za třetí, tato koncentrace nabízí cestujícím širší nabídku destinací. Většina letů tak v systému „hub-and-spoke“ neoperuje pouze mezi destinacemi daných letů (např. Praha - Londýn), ale i mezi všemi destinacemi z uzlového letiště. Adopcí kyvadlového systému v rámci letecké společnosti nebo letecké aliance je možné dosáhnout efektivnější přepravy z pohledu

---

<sup>4</sup> v dnešní době je součástí EU28 + Norsko, Island, Albánie, Bosna a Hercegovina, Černá Hora, Kosovo, Makedonie a Srbsko



společnosti i cestujících (Bootsma 1997). Tento systém funguje na principu minimalizace minimálního času na přestup stráveného na letišti. Na druhé straně stojí přestupní lety bez plánovaných navazujících letů nazývané „Self-help hubbing“. V takovém to případě si přestup zařizují cestující sami, což vede ke snížení ceny letenek, ale ke zvýšení času stráveného na přestupním letišti. „Self-help hubbing“ je typický pro nízkonákladové společnosti a je jedním z důvodů vzniku sekundárních uzlových letišť. Zhruba 2/3 nejrychlejších nepřímých letů po Evropě je operováno mimo letecké aliance (Malighetti a kol. 2008).

### **3. *Podpůrné faktory vzniku uzlového letiště („hub“)***

Dalším faktorem podněcující vznik letecké sítě jsou rozhodnutí jednotlivých leteckých společností k provozování linek v jednotlivých letištích. Tato rozhodnutí stojí na několika klíčových mechanizmech. Jejich pochopením můžeme zjistit, proč některá letiště nebo uzlová letiště vykazují vyšší míru růstu a jsou tudíž v prostoru více koncentrovaná.

Na úrovni vytvoření trasy v daném letišti jsou nejdůležitějšími mechanismy: bezpečnost letiště a lokalita, efektivita odbavovacích prací a letištní poplatky. Na úrovni dopravního uzlu letecké společnosti se k nim přidávají: kapacita; kvalita letištního vybavení; efektivní rozmístění v rámci letiště; příležitosti pro další růst; možnost údržby; možnost získání dominance na trhu s přímými i nepřímými lety; lokace s ohledem na časové zóny a omezení nočního provozu. Pro vytvoření „hubu“ na letišti jsou to ještě navíc: kapacita ve špičce; přestupní vybavení pro minimalizaci minimálního přestupního času; vyhrazené nástupní brány pro společnost, které jsou blízko sebe; geografická lokace s ohledem na hlavní dopravní proudy; svoz cestujících ze širší oblasti.

Barrett (2004) uvádí rozdílné mechanismy pro letiště obsluhované nízkonákladovými společnostmi: nízké nebo žádné letištní poplatky; průletový čas okolo 25 minut; jednopatrové terminály; rychlý check-in; dobré stravovací a nakupovací zařízení; dobrá pozemní doprava po letišti; žádné VIP salóanky.

### **4. *Princip path dependency vývoje leteckých sítí***

V letecké dopravě je vývoj rozsáhlých sítí „hub-and-spoke“ charakterizován „path dependency“ a „lock-in“. Za prvé, samotný princip „hub-and-spoke“ upřednostňuje rozrůstání již existujících uzlových letišť. Za druhé, investice a riziko spojené s vytvořením nových „hubů“ pro aerolinky jsou obrovské. Za třetí, lokace evropských letišť jsou jen zřídka

výsledkem ekonomicky racionálních rozhodnutí leteckých společností. Významnější roli sehrály historické události (např. koncentrace do národních center v době bilaterálních smluv). Navíc s časem, se původně výhodná pozice může zdát ekonomicky méně výhodná a letecká společnost může dosáhnout stavu „lock-in“ kvůli regulačním bariérám, nedostatku slotů na jiných letištích či obrovské investice s přemístěním.

Evropská letecká síť je tak v konečném důsledku souhrnem všech leteckých sítí jednotlivých aerolinek, jejichž působení je ovlivněno výše zmíněnými faktory. K prostorové koncentraci dochází na úrovni klasických i nízkonákladových dopravců. K vyšší prostorové dekoncentraci dochází u pobřeží Norska, což je odrazem snahy propojení špatně dostupných regionů se zbytkem země (Williams a Pagliari 2004). K časové koncentraci dochází u klasických dopravců a u několika málo nízkonákladových dopravců. Podíl letů nízkonákladových dopravců se mezi lety 2006 a 2016 zvýšil z 24 % na 39 % (Cattaneo a kol. 2017). Je však nutné podotknout, že se jedná pouze o lety v rámci Evropy. V opačném případě je pak toto číslo o něco nižší, a to 30 % v roce 2016 (Eurocontrol 2017). Tato čísla svědčí o zvyšující se dominanci nízkonákladových dopravců u evropských letů a přesunutí orientace klasických dopravců na mimo evropské lety. Podle Dobružkes (2013) lze v Evropě najít dva druhy strategií nízkonákladových společností, které jsou odvozené od dvou největších dopravců v této kategorii – EasyJet a Ryanair. V první strategii (EasyJet) jde o obsluhování především velkých letišť a konkurenční boj s klasickými dopravci. V druhé strategii (Ryanair) společnosti obsluhují velké množství regionálních letišť, s nízkou konkurencí a těší se na tak na řadě tras exkluzivitou.

## 2.3. Klasifikace letišť

Na klasifikaci letišť můžeme nahlížet z několika pohledů, všechny však mají za cíl vytvořit co nejvíce homogenní skupiny letišť. Jedna z nejvýznamnějších proměnných je objem přepravy, která nám ukazuje roli a důležitost konkrétního letiště. Do této proměnné lze zařadit počet cestujících, počet letů nebo počet obsluhovaných destinací. Další takovou proměnnou je přestupní dimenze – počet přestupních pasažérů, počet přestupních letů či počet zahraničních<sup>5</sup> (mimoevropských) letů. Třetí proměnná se zaměřuje na důležitost letiště z pohledu konektivity (např. betweenness centrality). Polední zde vyjmenovanou proměnnou je druh služeb, který je často znázorněn podílem nízkonákladových letů, které jsou často spojované s regionálními a sekundárními letišti. Tyto dvě kategorie letišť je však nutné rozlišovat. Regionální letiště obsluhují regionální centra, které svojí významností nedosahují světových měst a ve svém regionu mají jistou dominanci. Naproti tomu sekundární letiště jsou velikostně menší a v zázemí světových měst společně s dalšími letišti. Jejich funkce tak není pro daný region dominantní (Dobruzskeš 2017). Klasifikací letišť pomocí jedné nebo kombinací více proměnných se zabývalo již několik autorů (např. Burghouwt a Hakfoort 2001; Malighetti a kol. 2009; Adikariwattage a kol. 2012 nebo Rodríguez-Deníz a kol. 2013).

Možností, jak rozlišit letiště je mnoho, např. podle jejich funkce na civilní a vojenské, komerční a nákladní, uzlové a neuzlové. Podle celkového objemu cestujících Airport Council International rozděluje letiště na 4 skupiny nazvané jednoduše Skupina 1-4 (ACI 2016<sup>6</sup>): Skupina 1 zahrnuje všechny letiště s více než 25 mil. cestujících za rok. V roce 2016 bylo možné takových letišť v Evropě najít 36. Skupinu 2 tvoří letiště mezi 10–25 mil. cestujících za rok (v Evropě 30 letišť). Skupina 3 je tvořena letišti s počtem cestujících 5-10 mil. (v Evropě 32 letišť). Poslední skupina 4 jsou pak všechna ostatní letiště s méně než 5 mil. cestujícími za rok, z nichž v Evropě jich je více než 450.

Kombinací objemu přepravy (počet cestujících a počtu obsluhovaných destinací) a přestupní dimenze (počet zahraničních letů) dospěli autoři Burghouwt a Hakfoort (2001) k pěti kategoriím:

1. primární „huby“ – velká letiště s vysokým zastoupením domácích i zahraničních letů

---

<sup>5</sup> v kontextu velikosti sítě (např. stát, region, makroregion)

<sup>6</sup> údaje za Evropu – Eurostat 2018

2. sekundární „huby“ – velká letiště s vysokým zastoupením domácích letů, ale malé zastoupení zahraničních letů
3. letiště střední velikosti – větší letiště mimo národní (regionální) centra s omezeným počtem zahraničních letů
4. malá letiště – letiště s omezeným počtem domácích i zahraničních letů
5. velmi malá letiště – letiště s velmi malým celkovým počtem letů

## 2.4. Odolnost leteckých sítí

Všechny studované sítě, ať už se jedná o síť letecké, dopravní nebo sítě webových stránek, jsou náchylné k narušení, kdy dojde k omezení či úplnému zastavení toků informací. K měření toho, jak moc je síť náchylná vůči negativním vlivům se využívá konceptu robustnosti a resilience. Tyto termíny se mohou jevit jako podobné, ale existují mezi nimi rozdíly (Bankes 2010). **Robustnost** lze chápat jako schopnost systému odolávat externím i interním (negativním) vlivům při zachování funkčnosti. Jedná se tedy o absolutní vyjádření odolnosti, kdy systém funguje, resp. nefunguje jako celek. **Resilience** je schopnost systému reagovat na externí a interní (negativní) vlivy pomocí adaptace, a tím zachovat svoji funkčnost. Často je resilience spojována s časovým hlediskem navrácení do původního stavu.

V letecké dopravě rozlišujeme dva druhy negativních vlivů označované jako výpadky, a jejich rozdělení tak vyplývá z jejich časového působení (Hossain a kol. 2013). Krátkodobé vlivy jako je např. uzavření letového prostoru (vojenské hledisko), nedostupnost vzletové a přistávací dráhy či dalších letištních zařízení z důvodu špatného počasí či přeplněnosti letové kapacity nebo omezený provoz kontrolních věží výpadkem komunikačních linek. Tyto vlivy jsou často vyřešeny během krátké doby a dochází tak nejčastěji ke zpoždění letů či odvrácení letů na jiná okolní letiště. Dlouhodobé vlivy naopak svým delším časovým hlediskem způsobují komplikace až kolaps celé sítě. Mezi takovéto vlivy lze zařadit např. teroristický útok srovnatelný z 11. září 2001, výbuch sopky Eyjafjallajökull na Islandu v roce 2010, letiště ovlivněné rozsáhlými povodněmi a bouřemi (hurikány, tajfuny, tornáda apod.) nebo poničení vzletových a přistávacích drah.

Z hlediska jednotlivých typů sítí jsou „scale-free“ a „small-world“ sítě odolné vůči náhodným jevům (např. nepříznivé počasí), avšak velice náchylná vůči cíleným útokům (např. teroristický útok), které zasahují nejvýznamnější uzly v síti (Albert a kol. 2000). Vzácné události s velkým dopadem nazývané také „bílé vrány“ mají významný vliv na celé

sítě. Na evropském kontinentu se taková událost stala v roce 2010 při výbuchu sopky Eyjafjallajökull. Wilkinson a kol. (2012) zkoumali vliv této události na leteckou dopravu a její příčiny, které stojí za velikostí dopadu. Vliv takovéto události je samozřejmě enormní. Za tak obrovským dopadem stojí kromě samotného omezení letového prostoru prachovými částicemi i přitažlivosti konkrétních destinací, prostorové omezení a ochota dojíždět na vzdálenější letiště. Během 18. května bylo zavřeno okolo 50 % letového prostoru v Evropě a zrušeno necelých 90 % letů. Scaini a kol. (2014) s touto událostí upozorňují na velkou koncentraci letů v oblasti tzv. geografického středu letecké dopravy v Evropě, který se nachází mezi Londýnem, Paříží, Amsterdamem a Frankfurtem.

V reálných sítích, jako je např. letecká síť, se informace šíří velice rychle, a to jak pozitivní, tak i negativní. Toto lze brát jako nevýhodu reálných sítí, kdy se např. epidemie šíří velice rychle. Výhodou je naopak její dynamičnost a schopnost reagovat a přizpůsobit se situaci, a tím zpomalit či úplně zastavit šíření epidemie.

### 3. CÍLE A HYPOTÉZY

Tato diplomová práce si klade za cíl zjistit **významnost leteckých uzlů vzhledem k jejich geografickým podmínkám, komunitní struktuře a odolnosti celé evropské letecké sítě** pomocí analýzy sítě z hlediska konektivity. Vzhledem k tomu, že samotná analýza evropské letecké sítě je velice obecný cíl, je práce strukturovaná do dílčích cílů, které přispějí k naplnění tohoto obecného cíle.

*Dílčí cíl č. 1:* Prvním dílčím cílem je **identifikace nejvýznamnějších evropských leteckých uzlů** a zjistit jejich **roli a význam** v evropské letecké síti. K dosažení bude provedeno hodnocení jednotlivých letišť pomocí měr centrality a síťové analýzy. K této problematice lze formulovat následující hypotézu:

Mezi nejvýznamnějšími uzly budou letiště, která obsluhují města, jež lze označit za světová. Jejich důležitost pak bude odrážet i turistickou atraktivitu jednotlivých měst. V nejvýznamnějších letištích se bude nacházet „hub“ alespoň jedné silné letecké společnosti.

*Dílčí cíl č. 2:* Úkolem druhého dílčího cíle je **charakterizovat evropskou leteckou síť** jako jeden uzavřený celek. Smyslem je zjistit, jestli v síti existuje hierarchická i komunitní struktura, a jak komplikovaný je pohyb mezi jednotlivými uzly. Hypotézou pro tento cíl je:

Vzhledem k již provedeným pracím zabývajícím se analýzou reálných sítí (např. Guimerá a kol. 2005; Guida a Maria 2007; Bagler 2008; Xu a Harriss 2008; Wang a kol. 2011), lze i u evropské letecké sítě očekávat stejný trend a začlenit ji k sítím typu „small-world“, kde je většina letišť snadno dostupná i přesto, že spolu nemají přímé spojení. Na druhou stranu, nelze očekávat, že bude přítomna silná hierarchická struktura („scale-free“) ve smyslu podřízenosti jednotlivých uzlů a jejich nezbytnosti pro pohyb v rámci sítě, tedy jasná podřízenost menších uzlů uzlům větším. Tato úvaha vychází z toho, že v Evropě jsou krátké geografické vzdálenosti mezi jednotlivými letišti, a tím i slabší zastoupení přestupních letů („hub-and-spoke“). Dále je to také přítomnost většího množství velmi významných letišť relativně blízko sebe vzniklé díky zájmům jednotlivých států.

*Dílčí cíl č. 3:* Třetím dílčím cílem je **najít komunity letišť**, které mezi sebou mají nejsilnější vztahy, a naopak slabší vztahy s letišti mimo svoji komunitu. Tento dílčí cíl vychází z předpokladu, že hodnoty shlukovacího koeficientu budou mnohem vyšší v porovnání s náhodnou sítí. Na tento cíl se váže tato hypotéza:

Přítomnost komunitní struktury bude odrazem shlukování letišť ve svém okolí. Vztahy mezi letišti budou existovat hlavně v rámci velkých národních států. Dále lze také očekávat rozdělení na západní a východní Evropu, tedy převážně velký vliv Ruské federace.

*Dílčí cíl č. 4:* Posledním dílčím cílem je zjistit, jaká je **odolnost evropské letecké sítě** vůči negativním vlivům. Odolnost sítě bude zkoumána z pohledu robustnosti (schopnost zachování funkčnosti) a resilience (schopnost adaptace sítě). Hypotéza je formulována následovně:

Jako i jiné reálné sítě bude evropská letecká síť odolná vůči náhodným jevům, jako je například nepřízeň počasí, ale náchylná vůči cíleným útokům v nejvýznamnějších uzlových letištích. Díky přítomnosti většího množství významných letišť bude síť odolnější i při cílených útocích. Nejkritičtějšími letišti budou ta nejvýznamnější z hlediska přímé konektivity a přestupního potenciálu (mezilehlá konektivita). Absorpční kapacita letišť v okolí postižených letišť bude dostatečná, a to především vlivem sezónnosti a nižšího vytížení v zimních měsících, za které je analýza prováděna.

## 4. METODIKA

V této práci je analyzována evropská letecká síť, do které jsou zahrnuta veškeré civilní letiště jejichž celkový objem v roce 2016 dosáhl alespoň 1 mil. cestujících, a to především kvůli datové náročnosti. Celkově tak bylo zahrnuto 199 letišť, jejichž výčet je v Příloze 1. Ve statistikách Eurostatu (2017) je evidováno celkově 618 civilních letišť včetně letišť v evropské části Ruska (Avia adv 2017). Vybraná letiště zahrnují 91 % (Eurostat 2017, Avia adv 2017) všech cestujících, kteří v roce 2016 využili některé z evropských letišť.

Vymezené území Evropy není dáno hranicí jednotlivých států, ale hranicí Evropy. Mimo klasického jádra evropských států, zde najdeme i evropskou část Ruska omezenou pohořím Ural, na jihu omezená hranicí Zakavkazských republik a Ruska, evropskou část Turecka (zahrnující především letiště evropské části Istanbulu – IST). Zahrnuty jsou i ostrov Kypr, Kanárské ostrovy, souostroví Madeira, souostroví Azory, Island, Faerské ostrovy a Špicberky.

Hlavním datovým zdrojem je webová aplikace FlightConnections (Flightconnections 2018), která sbírá veškerá data z letových řádů jednotlivých letišť světa. Z aplikačního hlediska se tak nejedná o lety uskutečněné, ale o lety plánované (pravidelné i charterové). Tato analýza se z časového hlediska vztahuje k týdnu 19. – 25. února 2018. Do analýzy byly zahrnuty veškeré vzájemné lety mezi vybranými evropskými letišti, dále pak mezi vybranými evropskými letišti a mimoevropskými letišti, které mají spojení s více než 10 destinacemi (Flightconnections 2018). Jednotlivé údaje za letiště byla sbírána výběrem konkrétních letišť, kdy se následně zobrazí všechny dostupné destinace. Párováním s destinacemi je pak možné získat přehled o všech dostupných letech mezi těmito destinacemi. Jak již bylo uvedenou výše, analyzováno bylo 199 evropských letišť mezi nimiž s v týdnu 19. – 25. února 2018 mělo uskutečnit 198 248 letů.

K výpočtu síťových charakteristik (měr centrality) byl využit volně dostupný software Gephi. Ke shlukové analýze byl využit software SPSS, k tvorbě mapových podkladů pak software ArcGIS.



#### 4.1. Míry konektivity a charakteristika jednotlivých uzlů

Cílem této práce je analýza evropské letecké sítě. Tuto síť lze znázornit jako graf  $G$ , který je vyjádřen množinou vrcholů  $V$  (z angl. vertices) a množinou hran  $E$  (z angl. edges):

$$G = (V, E)$$

Počet vrcholů představuje počet letišť ve studované síti a počtem hran je myšleno počet dvojic spojených letišť. Celková propojenost sítě je pak vyjádřena maticí vztahů  $A_{n \times n}$ , kde  $a_{ij}=1$  značí existující vztah mezi dvěma letišti a  $a_{ij}=0$  značí opak. V leteckých sítích jsou vztahy směřující z a do jednotlivých letišť v drtivé většině stejné, tedy počet příletů a odletů je roven. Z tohoto důvodu je evropská letecká síť znázorněna jako neřízená síť. V opačném případě, by se jednalo o síť řízenou a bylo by nutné počítat zvlášť vztahy směřující do letiště a vztahy směřující z letiště.

Základní mírou konektivity na úrovni jednotlivých uzlů je **přímá konektivita (degree centrality)**<sup>7</sup>, která vyjádřena vztahem:

$$k_i = C_D(i) = \sum_{j=1}^n a_{ij}$$

Tato centralita udává počet hran vycházející z uzlu  $i$ , tedy počet letišť, na které je letiště  $i$  přímo napojeno. Jedná se tak o stupeň zapojení do sítě. Přidáním váhy vznikne **vážená přímá konektivita (weighted degree centrality)**<sup>7</sup>, která ukazuje sílu vztahů mezi jednotlivými uzly:

$$s_i = C_D^W(i) = \sum_{j=1}^n a_{ij}w_{ij}$$

kde  $w_{ij}$  je váha vyjádřena frekvencí letů mezi jednotlivými páry letišť. Oproti přímé konektivitě, která nám ukazuje kolik destinací je ze sledovaného letiště obsluhováno, nám vážená přímá konektivita říká, jak silné jsou tyto vztahy a dle této hodnoty je možné určit celkovou velikost letiště.

Další významnou mírou konektivity na úrovni uzlů je **mezilehlá konektivita (betweenness centrality)**<sup>7</sup>:

---

<sup>7</sup> Freeman 1979

$$C_B(i) = \sum_{k \neq i \neq j} \frac{\sigma_{kj}(i)}{\sigma_{kj}}$$

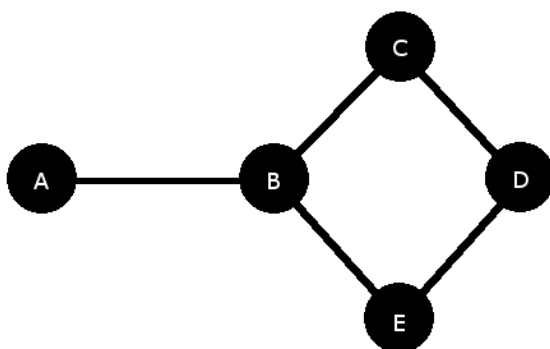
kde  $\sigma_{kj}$  je počet nejkratších cest mezi uzly  $k$  a  $j$  a  $\sigma_{kj}(i)$  pak vyjadřuje kolik těchto cest vede skrz uzel  $i$ . Nejkratší cesta je minimální počet letů mezi dvěma letišti. Pokud mají letiště přímé spojení, je nejkratší cesta rovna jedné. V opačném případě se nejkratší cesta rovná nejmenšímu počtu přestupů. Mezilehlá konektivita, zachycuje přestupní význam letiště spojujícího rozdílné regiony a funguje tak jako most mezi nimi. Ve výsledku tak mohou letiště s nízkou hodnotou přímé konektivity být významným přestupním uzlem. Přestože i přímá konektivita může zachycovat přestupní význam letiště, je tento význam spíše odrazem celkové velikosti letiště.

Poslední uzlovou mírou konektivity je **linková konektivita (closeness centrality)**<sup>8</sup>, která vyjadřuje jak daleko, resp. jak blízko je sledované letiště od ostatních letišť v síti. Tento vztah je vyjádřen vzorcem:

$$C_C(i) = \sum_{j \neq i} d_{ij}$$

$d_{ij}$  je vzdálenost sledovaného letiště  $i$  od letiště  $j$ , vyjádřená nejkratší cestou. Tato konektivita nám ukazuje polohu letiště v síti vůči ostatním letišťům, tedy jak je letiště dostupné. Zobrazení jednotlivých měr centrality na úrovni uzlů je znázorněno na Obr. 2.

**Obr. 2:** Znázornění grafu a výpočet měr konektivity



*Zdroj: vlastní zpracování*

*Pozn.: Uzel B má přímé spojení s uzlem A, C a E jeho přímá konektivita je tak rovna 3; skrze uzel B vede nejkratší cesta uzlů AC, AE, AD, kde je tato cesta jediná možnost a uzlů CE, kde je možné cestovat i skrz uzel D, váha je tak pro uzel B pouze poloviční, výsledná mezilehlá konektivita je rovna 3,5; nejkratší cesta mezi uzly AB, BC a BE je rovna 1, mezi uzly BD je rovna 2, dosazením do vzorečku zjistíme, že výsledná linková konektivita je rovna 5.*

<sup>8</sup> Freeman 1979

## 4.2. Strukturní charakteristiky sítě

K určení vlastností sítě jako celku se využívají strukturní charakteristiky sítě. První takovou charakteristikou je *rozložení přímé konektivity (degree distribution)*<sup>9</sup> matematicky vyjádřené:

$$P(> k) = \sum_{k'=k}^{\infty} P(k')$$

kde  $P(> k)$  představuje kumulativní distribuci přímé konektivity jednotlivých uzlů v síti, tedy podíl uzlů jejichž stupeň zapojení je větší nebo roven  $k$ . To nám ukazuje pravděpodobnost, že uzel má určitou velikost zapojení v síti.  $P(k')$  pak lze vyjádřit jako podíl uzlů s hodnotou přímé konektivity  $k$  ku celkovému počtu uzlů ( $n_k/n$ ). V praxi nám tato charakteristika říká, o jaký druh sítě se jedná. Například náhodné sítě vykazují poissonovo rozdělení, naopak sítě typu „scale-free“ kopírují mocninnou funkci s exponentem od 2 do 3.

Druhou charakteristikou sítě je *průměrná délka cesty (average path length)*<sup>10</sup>. Ta je definována jako průměr nejkratší cest  $d_{ij}$  všech možných dvojic uzlů v síti  $n(n-1)$ . Vzorec nám tak vyjadřuje průměrný počet přestupů mezi všemi letišti ve studované síti.

$$L = \frac{1}{n(n-1)} \sum_{i>j} d_{ij}$$

Další charakteristikou sítě je *shlukovací koeficient (clustering coefficient)*<sup>10</sup>, který je vyjádřen jako průměrný shlukovací koeficient jednotlivých uzlů:

$$C = \frac{1}{n} \sum_i C_i$$

kde  $C_i$  je shlukovací koeficient jednotlivých uzlů vyjádřený jako poměr počtu hran  $E_i$  mezi sousedy uzlu  $i$  a všech možných hran  $k_i(k_i-1)/2$ . Jinými slovy se jedná o pravděpodobnost propojení dvou uzlů, jsou-li oba spojeny s uzlem  $i$ .

$$C_i = \frac{2E_i}{k_i(k_i-1)}$$

---

<sup>9</sup> Barabási a Albert 1999

<sup>10</sup> Watts a Strogatz 1998

Vyšší hodnoty shlukovacího koeficientu na úrovni uzlu svědčí o kompaktnosti systému se svými sousedy. Je-li hodnota rovna 0, pak má uzel pouze jednoho souseda. Naopak je-li hodnota rovna 1, tak jsou všechny sousední uzly navzájem propojeny. Čím vyšší hodnota průměru shlukovacích koeficientů, tím je možné dosáhnout ostatních uzlů menším počtem hran. V extrémních případech, kdy je hodnota rovna 0, resp. 1, vzniká v prvním případě hvězdicová struktura sítě a v druhém plně propojená struktura sítě.

Všechny tři charakteristiky lze zahrnout do topologických vlastností sítě, na jejichž základě se dá určit typ sítě.

### 4.3. Komunitní struktura

Přiřazení jednotlivých letišť do komunit je provedeno pomocí **modularity** (Guimerá a kol. 2007). Modularita sítě rozděluje jednotlivé uzly do komunit na základě silných vzájemných vztahů uvnitř komunity a co nejslabších vztahů směřujících mimo komunitu. V podstatě se jedná o vytvoření co nejvíce kompaktních komunit, v teorii grafů zvaných moduly. K výpočtu je pak následně využíván algoritmus (simulated annealing), který je založen na základě vztahu:

$$M(P) = \sum_{m=1}^{N_M} \left[ \frac{l_m}{L} - \left( \frac{d_m}{2L} \right)^2 \right]$$

kde  $N_M$  je počet modulů (komunit),  $L$  je počet přímých vztahů v síti,  $l_m$  představuje počet vztahů mezi uzly v daném modulu  $m$  a  $d_m$  pak značí součet přímých vztahů všech uzlů v modulu  $m$ . Cílem algoritmu je najít takové rozdělení  $P$ , které má nejvyšší modularitu  $M$ . Ve své podstatě se jedná o porovnání vztahů uvnitř komunit, od kterých je odčtena očekávaná hodnota v případě, že by uzly v dané komunitě měly rozloženy vztahy v síti náhodně. Během algoritmu dochází k postupnému spojování komunit, a to do té doby, kdy dochází ke zvyšování hodnoty modularity. Algoritmus přestává počítat ve chvíli, pokud již není možné dále spojovat komunity bez snížení hodnoty modularity. Výpočtem dosahujeme hodnot modularity od 0 (rozložení uzlů je náhodné) do 1 (velmi silná komunitní struktura). V praxi se můžeme setkat s hodnotami od 0,3 do 0,7, které značí silnou komunitní strukturou (Newman a Girvan 2004).

Ve vztahu ke komunitám lze vypočítávat i tzv. **z-skór (within-module degree)** a **participační koeficient**, podle nichž zjistíme, jak silně jsou uzly s danou komunitou vázány, případně jak silně jsou vázány na ostatní komunity. Dle těchto hodnot můžeme definovat

roli jednotlivých uzlů v rámci komunity i v rámci celé sítě (Guimerá a Amaral 2005, Guimerá a kol. 2007).

Z-skór ( $z_i$ ) měří, jak dobře je uzel napojen na ostatní uzly ve své komunitě v porovnání s ostatními uzly v dané komunitě. Je vyjádřen vztahem:

$$z_i = \frac{s_{im} - \bar{s}_{m_i}}{\sigma_{s_{m_i}}}$$

kde  $s_{im}$  je počet vztahů uzlu  $i$  dalším uzlům v modulu  $m$ ,  $\bar{s}_{m_i}$  vyjadřuje průměrný počet vztahů všech uzlů v modulu  $m$  a  $\sigma_{s_{m_i}}$  je pak směrodatná odchylka těchto vztahů.

K měření vnějších vztahů slouží tzv. participační koeficient ( $P_i$ ), na jehož základě zjistíme, jak kvalitně je uzel napojen na uzly v ostatních komunitách. Je vyjádřen vztahem:

$$P_i = 1 - \sum_{m=1}^{N_M} \left( \frac{s_{im}}{s_i} \right)^2$$

kde  $s_{im}$  opět znázorňuje počet vztahů uzlu  $i$  v modulu  $m$  a  $s_i$  vyjadřuje hodnotu všech vztahů (i mimo vlastní komunitu) uzlu  $i$ . Hodnoty participačního koeficientu jsou blízké 0, pokud daný uzel má vztahy jen ve své komunitě a blízké 1, pokud jsou jeho vztahy rovnoměrně rozložené ke všem komunitám.

Na základě těchto dvou veličin můžeme přiřadit roli letišť v jejich komunitě i celé sítě. V rámci komunity (*z-skór*) je to binární rozdělení na uzlová a neuzlová letiště. Hraniční hodnotou pro toto rozdělení je 2 - 2,5 v závislosti na velikosti sítě. Tato hodnota je průměrem dosud zkoumaných komplexních sítí a vyjadřuje práh přitažlivosti uzlů (Guimerá a Amaral 2005). Tyto 2 skupiny pak lze zpřesnit pomocí *participačního koeficientu*. V případně první skupiny (uzlová letiště) se jedná o provinční uzlová letiště s hodnotou  $P_i \leq 0,3$ , která mají většinu vztahů v rámci své komunity, spojovací uzlová letiště ( $0,3 < P_i \leq 0,75$ ), která jsou dobře napojená i na některé další komunity a nakonec jsou touzlová letiště s významem pro celou síť ( $P_i > 0,75$ ) s dobrým napojením do všech komunit. Neuzlová letiště lze klasifikovat na základě této metody na ultraperiferní letiště ( $P_i \leq 0,05$ ), periferní letiště ( $0,05 < P_i \leq 0,62$ ), spojovací neuzlové letiště ( $0,62 < P_i \leq 0,8$ ) a neuzlová letiště se zapojením do všech komunit (Guimerá a Amaral 2005).

#### 4.4. Klasifikace uzlů

V této práci budou uzly klasifikovány pomocí shlukové analýzy. Cílem shlukové analýzy je vytvoření co nejvíce strukturálně podobných skupiny letišť. Do analýzy vstupují 3 kategorie proměnných: přímá konektivita a vážená přímá konektivita (směřující do Evropy), dále je to vážená přímá konektivita (směřující mimo Evropu) a podíl letů směřujících do Evropy; nakonec je mezilehlá konektivita a linková konektivita jako míry konektivity.

Přestože jsou některé proměnné mezi sebou silně korelované (Wang a kol. 2011), každá z nich vyjadřuje jiný aspekt daného letiště (např. přímá konektivita vyjadřuje rozsah nabízených služeb, vážená přímá konektivita vyjadřuje intenzitu těchto služeb). Aby se ovšem dosáhlo kvalitnějších výsledků, bude před shlukovou analýzou provedena faktorová analýza. Ta si klade za cíl vytvoření faktorů, které jsou mezi sebou co nejméně korelované. Výsledky, resp. faktorové zátěže jednotlivých faktorů po rotaci VARIMAX jsou zobrazeny v Tab. 4 a Tab. 5.

**Tab. 4:** *Vysvětlená variabilita faktorové analýzy*

| Component | Initial Eigenvalues |               |              | Extraction Sums of Squared Loadings |               |              | Rotation Sums of Squared Loadings |               |              |
|-----------|---------------------|---------------|--------------|-------------------------------------|---------------|--------------|-----------------------------------|---------------|--------------|
|           | Total               | % of Variance | Cumulative % | Total                               | % of Variance | Cumulative % | Total                             | % of Variance | Cumulative % |
| 1         | 4,201               | 70,022        | 70,022       | 4,201                               | 70,022        | 70,022       | 3,328                             | 55,469        | 55,469       |
| 2         | 1,142               | 19,033        | 89,055       | 1,142                               | 19,033        | 89,055       | 2,015                             | 33,586        | 89,055       |
| 3         | ,308                | 5,128         | 94,183       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 4         | ,207                | 3,449         | 97,632       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 5         | ,103                | 1,721         | 99,353       |                                     |               |              |                                   |               |              |
| 6         | ,039                | ,647          | 100,000      |                                     |               |              |                                   |               |              |

*Zdroj: hodnocení SPSS (2018), vlastní výpočty*

Na základě hodnoty vlastního čísla (eigenvalue) větší než 1 zjistíme, že naše proměnné můžeme shrnout do 2 faktorů. Tyto 2 faktory dohromady vysvětlují 89 % variability souboru. Podíváme-li se na faktorové zátěže jednotlivých proměnných vůči těmto dvěma faktorům zjistíme, že první faktor vysvětluje především vnitřní vztahy v rámci sítě, a naopak druhý faktor vnější vztahy letišť.

Tyto 2 faktory pak vstupují do shlukové analýzy. Vzhledem k tomu, že nevíme, kolik shluků je optimální, bude využita aglomerační hierarchická shluková analýza pomocí Wardovy metody, jejímž principem je minimalizace heterogenity shluků (např. Burghouwt a Hakfoort 2001; Malighetti a kol. 2009; Adikariwattage a kol. 2012 nebo Rodríguez-Deniz

a kol. 2013). Výsledná klasifikace letišť je pak částečně převzata z klasifikace uzlových letišť - tzv. „eurohubů“, specializovaných „hubů“ a globálních „hubů“ (Burghouwt 2007; Dennis 1994) a velikostní, resp. významová klasifikace dle Burghouwt a Hakfoort (2001).

**Tab. 5:** Faktorové zátěže jednotlivých proměnných po rotaci VARIMAX

|   | Component |       |
|---|-----------|-------|
|   | 1         | 2     |
| Přímá konektivita                             | ,962      | ,185  |
| Vážená přímá konektivita (Evropa)             | ,826      | ,458  |
| Mezilehlá konektivita                         | ,848      | ,355  |
| Linková konektivita                           | -,930     | -,106 |
| Evropa %                                      | -,132     | -,930 |
| Vážená přímá konektivita (transkontinentální) | ,344      | ,877  |

*Zdroj: hodnocení SPSS (2018), vlastní výpočty*

#### 4.5. Odolnost sítě

V této práci je odolnost sítě sledována ze dvou pohledů. Za prvé je to robustnost jako schopnost sítě odolávat externím i interním negativním vlivům při zachování jisté formy funkčnosti. Druhým pohledem je resilience jako schopnost sítě adaptovat se na externí i interní negativní vlivy při zachování stejné funkčnosti.

**Robustnost** je sledována na čtyřech ukazatelích funkčnosti sítě. Jedná se o *průměrnou délku cesty* neboli změna průchodnosti sítě. Druhým ukazatelem je tzv. *velká komponenta*, která vyjadřuje počet letišť zapojených do největší propojené složky sítě. Třetím ukazatelem je počet existujících *přímých vztahů* a za čtvrté je to počet existujících *přímých letů*.

Celková robustnost sítě se vypočítává do momentu rozpadu sítě, a to postupným uzavíráním letišť. Rozpad sítě nastává v momentu, kdy při uzavření letiště dojde k rozštěpení na dva nebo více nepropojených částí sítě (podsítě nebo podgrafy), tzn. nelze jasně určit velkou komponentu. V praxi tak vzniknou dvě nepropojené části sítě, které jsou buď stejně velké, co do počtu napojených letišť nebo se velkou komponentou stane podsít', která v předchozím kroku nebyla součástí velké komponenty. Za touto hranicí již nelze mluvit o kompaktnosti sítě.

Výběr letišť, která jsou postupně uzavírána, je proveden na základě tří individuálních charakteristik uzlů. Jsou jimi přímá konektivita, vážená přímá konektivita a mezilehlá konektivita. Linková konektivita byla upozaděna vzhledem k vysoké korelaci s přímou

konektivitou (Wang a kol. 2011). Jsou tak vytvořeny tři výběry, při nichž je pořadí uzavírání letišť provedeno následovně. V prvním kroku je odstraněno nejvýznamnější letiště dle dané charakteristiky. Poté dojde k přepočítání všech individuálních charakteristik a charakteristik sítě a opět se odstraní nejvýznamnější letiště dle dané charakteristiky. Tento postup se opakuje až do doby rozpadu sítě. Pořadí odstranění jednotlivých letišť tak nesouvisí s významností při 100% fungování sítě, ale s významností v daný okamžik. Některá letiště mohou mít svoji významnost navázanou na jiná významná letiště, a jejich odstraněním přijdou o svoji významnost. Jiná letiště mohou naopak při odstranění významných letišť nabýt ještě větší významnosti, a tím se posunout v žebříčku odstraňovaných letišť.

**Resilience** je v této práci sledována pomocí **absorpční kapacity** v okolí nejvýznamnějších letišť. Absorpční kapacita je vypočítána jako maximální volná kapacita runwayí jednotlivých letišť. Jedná se tedy o maximální možné vytížení runwayí za týden, od kterého je odečteno skutečné vytížení runwayí vyjádřené počtem letů za týden. Na rozdíl od vážené přímé konektivity, kdy se jedná o lety směřující z daného letiště, je nutné započítat i lety směřující na dané letiště. V tomto případě se tak skutečné využití runwayí rovná dvojnásobku vážené přímé konektivity, a to jak letů směřujících do Evropy, tak letů směřujících mimo Evropu.

U absorpční kapacity je sledován práh, kdy dojde k naplnění, resp. je možné přesměrovat všechny lety z uzavřeného letiště do svého nejbližšího okolí. Práh absorpční kapacity je nejdříve pro každé uzavřené letiště počítán na 100 km. Pokud nedojde k naplnění, tak se práh posouvá o dalších 100 km. Aby nedošlo k přetížení i okolních letišť, je stanovena hranice 80 % maximálního vytížení. V analýze se nepočítá s typem letadla, takže všechna letiště mohou pojmout všechny typy letů. Dále se nepočítá ani s nákladními lety, které mohou tvořit určité procento vytížení letišť.

Vzhledem k zaměření na počet letů, se pro výběr uzavřených letišť jeví nejlépe pořadí podle vážené přímé konektivity. Vybráno tak bylo 15 nejvýznamnějších letišť dle této charakteristiky. K uzavírání letišť dochází vždy jednotlivě, ostatní letiště jsou pak funkční. V dalším kroku dochází k uzavření všech 15 letišť najednou. V prvním případě je pro přesměrování letů možné využít i ostatní letiště z výběru, jsou-li v dosahu. V druhém případě jsou si některá letiště konkurenty v rámci absorpční kapacity svého okolí. Je proto nutné optimalizovat přesměrování letů.



Absorpční kapacitu jednotlivých letišť lze stanovit třemi způsoby. Za první jsou to letiště, která nabízejí sloty. V tomto případě se předpokládá, že alokace slotů odpovídá maximálnímu vytížení runwayí i využívání určitými typy letadel. Za druhé jsou to letiště nenabízející sloty a počítá se s údaji, které jednotlivá letiště udávají k maximálnímu vytížení runwayí. Za třetí se jedná o letiště, pro které není možné sehnat údaje o maximálním vytížení runwayí. Pro tento případ byla vypočítána průměrná hodnota vytížení 60 % pro velká letiště s ročním obratem větším než 5 mil. cestujících, pro letiště s méně než 5 mil. cestujících je průměrná hranice stanovena na 32 %.

Hlavním datovým zdrojem pro maximální kapacitu letišť je webová stránka Online Coordination System (OCS 2019), který zprostředkovává údaje o kapacitě runwayí a slotů v zemích: Česko, Dánsko, Estonsko, Finsko, Irsko, Island, Litva, Lucembursko, Norsko, Polsko, Portugalsko, Rakousko, Řecko, Švédsko, Švýcarsko a Velká Británie. Pro ostatní země jsou to stránky společností, které zprostředkovávají koordinaci slotů v jednotlivých zemích. Pro Německo je to organizace Fluko (Fluko 2019), pro Francii je to organizace Cohor (Cohor 2019), pro Španělsko je to organizace AECFA (AECFA 2019), pro Nizozemsko je to organizace ACNL (ACNL 2019) a nakonec pro Belgie organizace BSC (BSC 2019). Údaje za některá další letiště pak byla získána z jejich webových stránek.

## 5. IDIVIDUÁLNÍ CHARAKTERISTIKY LETIŠŤ

V této kapitole budou shrnuty výsledky analýzy charakteristik jednotlivých letišť, která byla provedena pomocí měř centrality (konektivity). Na základě těchto výsledků lze usuzovat na důležitost a roli jednotlivých letišť v celé evropské letecké síti. V kapitole budou nejprve vyhodnoceny výsledky jednotlivých charakteristik (přímá konektivita, vážená přímá konektivita, mezilehlá konektivita a linková konektivita) a poté budou tyto charakteristiky vyhodnoceny komplexně. Je důležité si uvědomit, že výsledky uvedené níže jsou vztahované ke konkrétnímu týdnu (19. - 25. února 2018), a můžeme tak z nich usuzovat charakteristiku letišť pro zimní období.

### 5.1. Významnost letišť dle jednotlivých ukazatelů konektivity

#### 5.1.1. Přímá konektivita

Tato charakteristika nám udává, kolik destinací je možno z konkrétního letiště navštívit přímým spojením. Výběr 30 nejvýznamnějších evropských letišť dle této charakteristiky lze najít v Tab. 6.

**Tab. 6:** Nejvýznamnější letiště podle přímé konektivity –  $k_i$

| Pořadí    | IATA kód | $k_i$ | GaWC    | Pořadí    | IATA kód | $k_i$ | GaWC   |
|-----------|----------|-------|---------|-----------|----------|-------|--------|
| 1.        | AMS      | 138   | Alfa -  | 15. - 16. | FCO      | 101   | Alfa - |
| 2. - 3.   | BCN      | 129   | Alfa -  | 17. - 18. | CPH      | 100   | Beta + |
| 2. - 3.   | FRA      | 129   | Alfa    | 17. - 18. | GVA      | 100   | Beta - |
| 4.        | MUC      | 126   | Alfa -  | 19.       | BUD      | 97    | Alfa - |
| 5.        | BRU      | 115   | Alfa    | 20. - 21. | EDI      | 96    | Beta - |
| 6.        | CDG      | 113   | Alfa +  | 20. - 21. | PRG      | 96    | Alfa - |
| 7.        | STN      | 112   | Alfa ++ | 22.       | TFS      | 95    | x      |
| 8.        | LGW      | 110   | Alfa ++ | 23.       | ARN      | 93    | Alfa - |
| 9.        | MAD      | 109   | Alfa    | 24.       | HAM      | 91    | Beta + |
| 10. - 11. | AGP      | 105   | x       | 25. - 26. | ALC      | 90    | x      |
| 10. - 11. | VIE      | 105   | Alfa -  | 25. - 26. | SXF      | 90    | Beta   |
| 12.       | DUB      | 104   | Alfa -  | 27. - 28. | ATH      | 89    | Beta + |
| 13.       | MAN      | 103   | Beta -  | 27. - 28. | MXP      | 89    | Alfa   |
| 14.       | ZRH      | 102   | Alfa    | 29.       | LIS      | 88    | Alfa - |
| 15. - 16. | DUS      | 101   | Beta +  | 30.       | LPA      | 87    | x      |

Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty, GaWC 2018

Nejvíce destinací do vybraných evropských letišť nabízí letiště Schiphol v Amsterdamu (AMS), ze kterého je možné přímým spojením navštívit 138 letišť. Shodně po 129 destinacích nabízí letiště v Barceloně (El Prat - BCN) a ve Frankfurtu nad Mohanem (FRA). Čtvrté místo patří letišti v Mnichově (MUC - 126 destinací), následuje letiště

v Bruselu (BRU - 115), letiště Charles de Gaulle v Paříži (CDG - 113), londýnská letiště Stanstead a Gatwick (STN - 112, resp. LGW - 110), letiště Barajas v Madridu (MAD - 109) a výběr 10, resp. 11 nejvýznamnějších letišť z hlediska přímé konektivity uzavírá letiště Malága Costa del Sol (AGP) a Vídeňské letiště (VIE) se 105 destinacemi. K prvním 30 nejvýznamnějším letišťům z hlediska přímé konektivity patří zpravidla letiště obsluhující hlavní města v západní a střední Evropě a další významná města která lze klasifikovat jako světová např. Frankfurt, Mnichov, Miláno (MXP), ale zároveň turisticky atraktivní jako třeba Barcelona. Dále jsou to významné turistické přímořské destinace ve Španělsku (Malaga, Alicante – ALC) a Kanárské ostrovy, zde zastoupeny letišti Gran Canaria (LPA) a Tenerife Sur (TFS). Mezi letišti nalezneme převážně ta, která obsluhují Alfa (18) a Beta (8) světová města. Výjimku tvoří pobřežní španělské destinace (5), která nespádají do světových měst.

#### **5.1.2. Vážená přímá konektivita**

Další charakteristikou je vážená přímá konektivita, kde váha mezi jednotlivými destinacemi je vyjádřena frekvencí letů za týden. Přidáním váhy můžeme dojít ke dvěma extrémním případům hodnot ukazatele. Jedná se o letiště s malým počtem obsluhovaných destinací, ale vysokou frekvencí letů mezi nimi. Druhým extrémem jsou letiště s velkým počtem obsluhovaných destinací, ale pouze s frekvencí jednoho letu. V prvním případě se jedná např. o Stockholmské letiště Bromma (BMA), které v průměru obslouží 1 destinaci 33 lety, dále je to severní letiště ostrova Tenerife (TFN) s taktéž 33 lety na 1 destinaci. Obě tato letiště slouží v drtivé většině domácím letům. Druhý případ pak tvoří letiště nejružnějších přímořských letovisek s průměrem 3 lety na destinaci. To je dáno především sezónností těchto destinací, kdy tato letiště v zimním období udržují vztah s evropskými destinacemi, ale často pouze s frekvencí 1 letu. Jedná se např. o letiště Varna (VAR) se 20 destinacemi a 55 lety či Zakynthos (ZTH) s 22 destinacemi a 73 lety.

Nejvýznamnějším letišťem z hlediska této charakteristiky je opět letiště Schiphol v Amsterdamu, které během týdne obslouží 3 369 letů směřujících do evropských destinací. S větším odstupem je to pak pařížské letiště Charles de Gaulle (2 404) následované Frankfurtským letišťem (2 207), Madridským letišťem (2 196) a Mnichovským letišťem (2 114). Přes 2 000 letů za týden směřujících do Evropy nabízí ještě Barcelonské letiště (2 014) a letiště Heathrow v Londýně (LHR - 2 000). Na rozdíl od nevážené přímé konektivity toto zastoupení více odráží hierarchické uspořádání v rámci světových měst nežli turistické atraktivty. To dokazuje i absence čistě turistických destinací. Výjimku tvoří

pouze Palma de Mallorca (PMI), která je atraktivní pro Anglické (208 letů) a Německé turisty (309 letů) i mimo letní sezonu (Kozak a Rimmington 2000). Další faktor významně ovlivňující tuto charakteristiku je i přítomnost domovských základů leteckých společností v těchto letištích. V této charakteristice ještě více převažují tzv. Alfa města (21), následují Beta města (8) a jedno nesvětové město. Podrobnější přehled podává Tab. 7.

**Tab. 7:** Nejvýznamnější letiště podle vážené přímé konektivity – *si*

| Pořadí | IATA kód   | <i>si</i> | GaWC    | Pořadí    | IATA kód   | <i>si</i> | GaWC    |
|--------|------------|-----------|---------|-----------|------------|-----------|---------|
| 1.     | <b>AMS</b> | 3 369     | Alfa -  | 16.       | <b>STN</b> | 1 301     | Alfa ++ |
| 2.     | <b>CDG</b> | 2 404     | Alfa +  | 17. - 18. | <b>DUS</b> | 1 283     | Beta +  |
| 3.     | <b>FRA</b> | 2 207     | Alfa    | 17. - 18. | <b>PMI</b> | 1 283     | x       |
| 4.     | <b>MAD</b> | 2 196     | Alfa    | 19.       | <b>MAN</b> | 1 260     | Beta -  |
| 5.     | <b>MUC</b> | 2 114     | Alfa -  | 20.       | <b>LIS</b> | 1 230     | Alfa -  |
| 6.     | <b>BCN</b> | 2 014     | Alfa -  | 21.       | <b>OSL</b> | 1 230     | Beta    |
| 7.     | <b>LHR</b> | 2 000     | Alfa ++ | 22.       | <b>ORY</b> | 1 228     | Alfa +  |
| 8.     | <b>FCO</b> | 1 840     | Alfa -  | 23.       | <b>ATH</b> | 1 211     | Beta +  |
| 9.     | <b>LGW</b> | 1 807     | Alfa ++ | 24.       | <b>GVA</b> | 1 186     | Beta -  |
| 10.    | <b>CPH</b> | 1 622     | Beta +  | 25.       | <b>IST</b> | 1 183     | Alfa    |
| 11.    | <b>DUB</b> | 1 561     | Alfa -  | 26.       | <b>ARN</b> | 1 171     | Alfa -  |
| 12.    | <b>BRU</b> | 1 550     | Alfa    | 27.       | <b>WAW</b> | 1 157     | Alfa    |
| 13.    | <b>ZRH</b> | 1 536     | Alfa    | 28.       | <b>MXP</b> | 1 088     | Alfa    |
| 14.    | <b>SVO</b> | 1 454     | Alfa    | 29.       | <b>HAM</b> | 1 068     | Beta +  |
| 15.    | <b>VIE</b> | 1 419     | Alfa -  | 30.       | <b>TXL</b> | 1 066     | Beta    |

*Zdroj: FlightConnections 2018, vlastní výpočty, GaWC 2018*

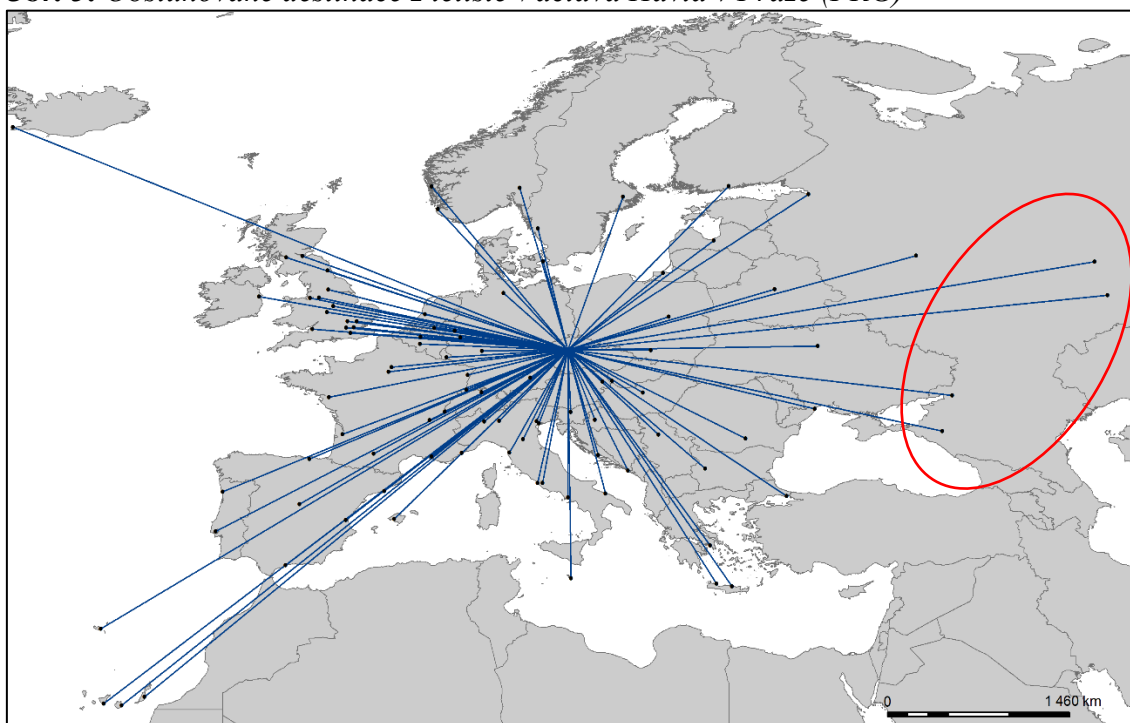
### 5.1.3. Mezilehlá konektivita

Na základě této charakteristiky můžeme sledovat, jak jsou jednotlivá letiště důležitá z hlediska jejich přestupního potenciálu či spojovací funkce mezi různými letišti či celými regiony. Cílem této charakteristiky je zjistit potenciální body, přes které lze spojit dvě letiště, které mezi sebou nemají přímé spojení.

Mezi nejvýznamnější letiště podle této charakteristiky patří opět Schiphol (AMS), El Prat (BCN), Frakfurt (FRA), Mnichov (MUC), Stanstad (STN), Brusel (BRU) a Gatwick (LGW) (viz. Tab. 8). U těchto letišť je vysoká bodová hodnota mezilehlé konektivity dána především jejich celkovou atraktivitou a počtem obsluhovaných destinací. Avšak i u těchto letišť záleží, které regiony obsluhují. Relativně dobře napojená letiště jako např. Charles de Gaulle v Paříži (CDG), Barajas v Madridu (MAD) či letiště v Curychu (ZHR) mají v této charakteristice oslabený význam. Důvodem je obsluhování destinací, které jsou z hlediska Evropy dobře obsluhovány a chybí jim unikátní vztahy. Naopak Letiště Václava Havla v Praze (PRG) patří mezi nejvýznamnější letiště. Hlavním důvodem pro

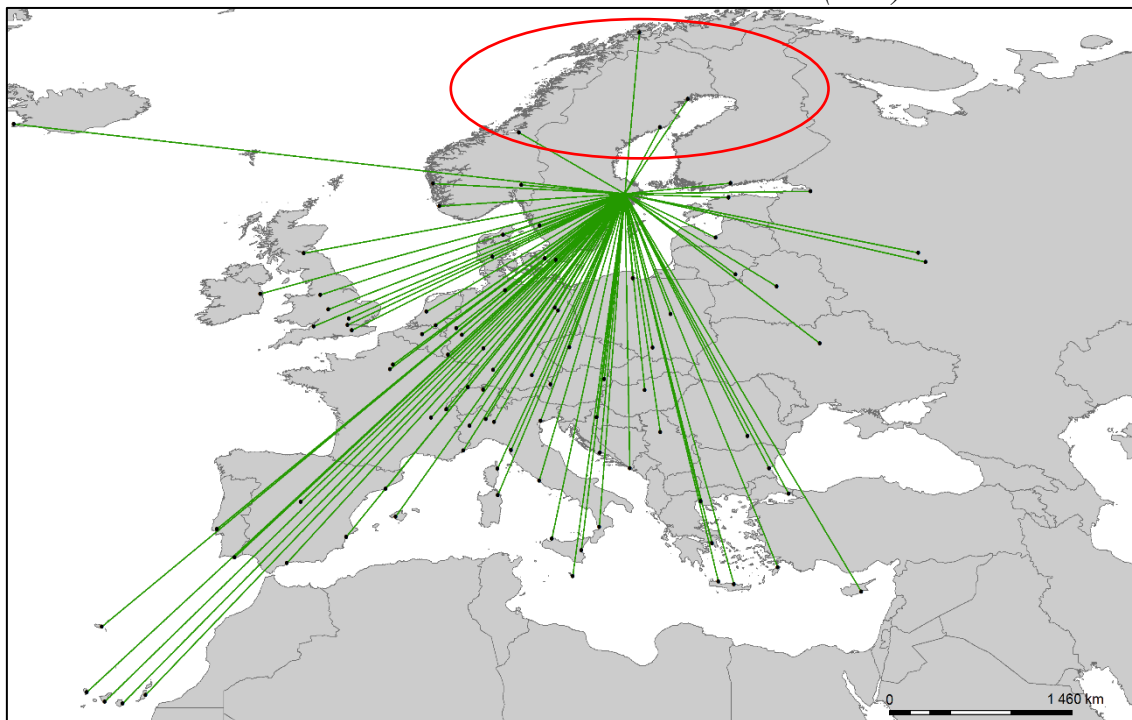
důležitost tohoto letiště je obsluhování destinací na území Ruska. Tato letiště totiž vykazují silné propojení mezi sebou a s hlavním městem Moskvou, na druhou stranu jejich vztahy směřující mimo Rusko jsou slabé s výjimkou pražského letiště, ale i letiště v Rize (RIX). Toto odůvodnění platí i pro zastoupení dvou moskevských letišť Šeremetevo (SVO), Domodědovo (DME) a petrohradského letiště (LED). Významné jsou i letiště Arlanda ve Stockholmu (ARN), letiště Vantaa v Helsinkách (HEL) a letiště Gardermoen v Oslu (OSL), které obsluhují málo dostupná letiště v severních oblastech těchto zemí. Vysvětlení lze hledat u povinnosti dopravců obsloužit špatně dostupné destinace jako jsou např. pobřežní území Norska (Williams a Pagliari 2004). Obecně lze říci, že velká letiště mají vztahy převážně s letišti podobné velikosti. V tomto ohledu tak do jisté míry dominují střední letiště, které často obsluhují v jistém smyslu unikátní destinace. Příkladem tak může být třeba letiště Alicante (ALC) nebo Gran Canaria (LPA), která obsluhují i menší letiště ve Španělsku. Pro porovnání těchto faktorů jsou na Obr. 3 -Obr. 5 zobrazeny obsluhované destinace letišť – PRG, ARN a MAD.

**Obr. 3:** *Obsluhované destinace z letiště Václava Havla v Praze (PRG)*



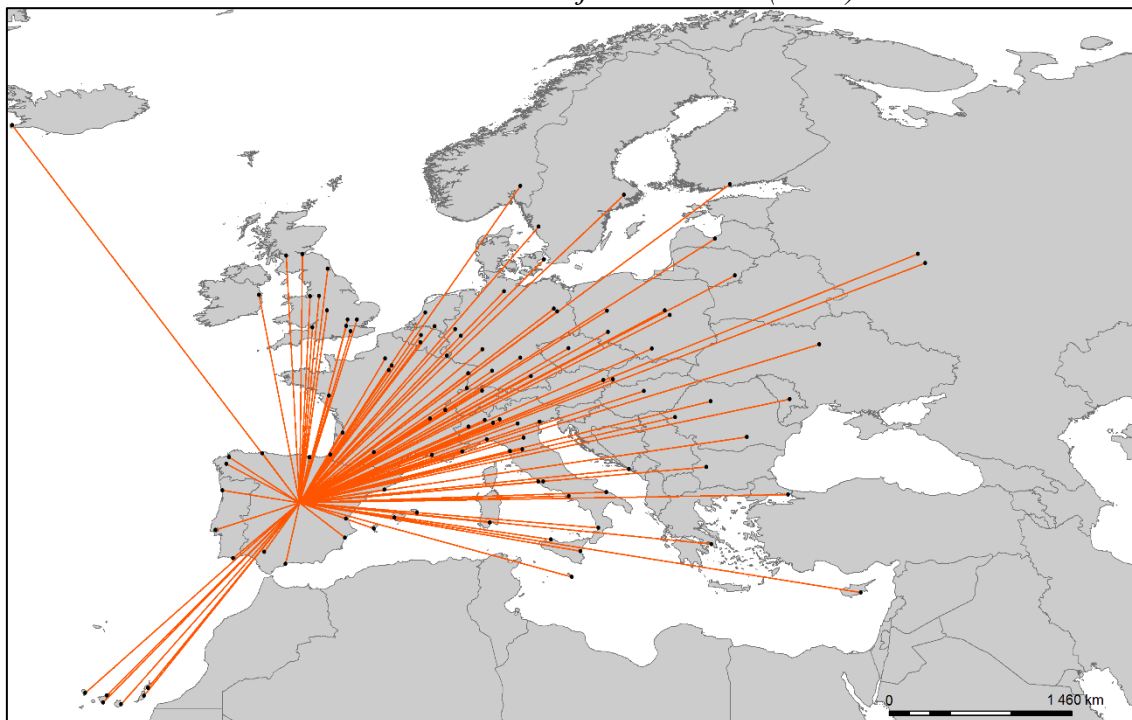
*Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty, ArcGIS 2018*

**Obr. 4:** Obsluhované destinace z letiště Arlanda ve Stockholmu (ARN)



Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty, ArcGIS 2018

**Obr. 5:** Obsluhované destinace z letiště Barajas v Madridu (MAD)



Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty, ArcGIS 2018

**Tab. 8:** Nejvýznamnější letiště podle mezilehlé konektivity –  $CB(i)$

| Pořadí | IATA kód | $C_B(i)$ | GaWC    | Pořadí | IATA kód | $C_B(i)$ | GaWC   |
|--------|----------|----------|---------|--------|----------|----------|--------|
| 1.     | AMS      | 331,81   | Alfa -  | 16.    | CDG      | 150,40   | Alfa + |
| 2.     | BCN      | 263,39   | Alfa -  | 17.    | LPA      | 144,66   | x      |
| 3.     | FRA      | 260,03   | Alfa    | 18.    | VIE      | 139,51   | Alfa - |
| 4.     | STN      | 226,94   | Alfa ++ | 19.    | TFS      | 134,90   | x      |
| 5.     | BRU      | 209,72   | Alfa    | 20.    | CPH      | 133,72   | Beta + |
| 6.     | SVO      | 207,72   | Alfa    | 21.    | MAD      | 130,40   | Alfa   |
| 7.     | PRG      | 205,30   | Alfa -  | 22.    | MAN      | 126,18   | Beta - |
| 8.     | MUC      | 201,52   | Alfa -  | 23.    | LED      | 125,19   | Gama   |
| 9.     | LGW      | 192,83   | Alfa ++ | 24.    | FCO      | 105,04   | Alfa - |
| 10.    | ARN      | 183,27   | Alfa -  | 25.    | RIX      | 104,09   | Gama + |
| 11.    | IST      | 167,89   | Alfa    | 26.    | DUB      | 103,57   | Alfa - |
| 12.    | ALC      | 167,41   | x       | 27.    | DUS      | 101,76   | Beta + |
| 13.    | DME      | 164,33   | Alfa    | 28.    | OSL      | 96,35    | Beta   |
| 14.    | AGP      | 160,42   | x       | 29.    | GVA      | 96,05    | Beta - |
| 15.    | HEL      | 154,88   | Beta -  | 30.    | ZRH      | 95,06    | Alfa   |

Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty, GaWC 2018

#### 5.1.4. Linková konektivita

Pomocí linkové konektivity zjistíme, která letiště jsou v celkovém součtu ostatním letišťům nejbližší z hlediska počtu absolvovaných letů.

**Tab. 9:** Nejvýznamnější letiště podle linkové konektivity –  $C_C(i)$

| Pořadí    | IATA kód | $C_C(i)$ | GaWC    | Pořadí    | IATA kód | $C_C(i)$ | GaWC   |
|-----------|----------|----------|---------|-----------|----------|----------|--------|
| 1.        | AMS      | 254      | Alfa -  | 14. - 16. | MAN      | 289      | Beta - |
| 2. - 3.   | BCN      | 261      | Alfa -  | 17.       | CPH      | 290      | Beta + |
| 2. - 3.   | FRA      | 261      | Alfa    | 18.       | GVA      | 291      | Beta - |
| 4.        | MUC      | 264      | Alfa -  | 19.       | BUD      | 293      | Alfa - |
| 5.        | BRU      | 275      | Alfa    | 20.       | PRG      | 294      | Alfa - |
| 6.        | CDG      | 277      | Alfa +  | 21.       | TFS      | 295      | x      |
| 7.        | STN      | 279      | Alfa ++ | 22.       | EDI      | 296      | Beta - |
| 8.        | LGW      | 280      | Alfa ++ | 23.       | ARN      | 297      | Alfa - |
| 9.        | MAD      | 281      | Alfa    | 24.       | SXF      | 298      | Beta   |
| 10. - 11. | AGP      | 285      | x       | 25.       | HAM      | 299      | Beta + |
| 10. - 11. | VIE      | 285      | Alfa -  | 26.       | ALC      | 300      | x      |
| 12. - 13. | DUB      | 288      | Alfa -  | 27. - 28. | ATH      | 301      | Beta + |
| 12. - 13. | ZRH      | 288      | Alfa    | 27. - 28. | MXP      | 301      | Alfa   |
| 14. - 16. | DUS      | 289      | Beta +  | 29.       | LIS      | 302      | Alfa - |
| 14. - 16. | FCO      | 289      | Alfa -  | 30.       | WAW      | 304      | Alfa   |

Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty, GaWC 2018

V Tab. 9 můžeme pozorovat, že nejcentrálnějším letišťem v rámci evropské letecké dopravy je stejně jako v předchozích případech Schiphol (AMS). K dosažení všech ostatních letišť z amsterdamského letiště je zapotřebí uskutečnit nejméně 254 letů. Tato hodnota

odpovídá v průměru 1,29 letů na destinaci. Další pořadí víceméně odpovídá přímé konektivitě. Tyto dvě charakteristiky spolu silně korelují (Wang a kol. 2011). Za prvé, je to dáno promítnutím přímých vztahů mezi letišti (přímá konektivita). Za druhé, omezená velikost sítě a velká vzájemná propojenost uzlů umožňují dosáhnouti veškerých letišť maximálně třemi lety (více viz kapitola 6).

### 5.1.5. Transkontinentální lety

I když je tato práce zaměřena na vztahy mezi evropskými letišti, je důležité se v částečné míře zaměřit i na dimenzi letů směřující mimo evropský kontinent. Tyto vztahy jsou sledovány na úrovni mimoevropských letišť, které obsluhují alespoň 10 destinací. V Tab. 10 jsou zobrazeny hodnoty vážené přímé konektivity, tedy počtu letů, jejichž cílová destinace se nachází mimo Evropu. Na první pohled můžeme vidět dominanci londýnského letiště Heathrow (LHR), ze kterého týdně vzlétne 1 712 letů směřujících na ostatní kontinenty. Druhým dominujícím letišť z tohoto pohledu je letiště Atatürk v Istanbulu (IST) s 1 688 lety, z nichž 488 (29 %) je v rámci nezahrnuté části Turecka. Třetím významným letišťem je pak pařížské CDG s 1 261 lety. Mezi další významné letiště lze zařadit dvě moskevská letiště (SVO a DME,) letiště Frankfurt (FRA), Schiphol (AMS), Barajas (MAD), Orly v Paříži (ORY) a Fiumicino v Římě (FCO).

**Tab. 10:** Letiště podle vážené přímé konektivity směřující mimo Evropu –  $s_i$

| Pořadí | IATA kód   | $s_i$ | GaWC    | Pořadí | IATA kód   | $s_i$ | GaWC   |
|--------|------------|-------|---------|--------|------------|-------|--------|
| 1.     | <b>LHR</b> | 1 712 | Alfa ++ | 16.    | <b>BRU</b> | 274   | Alfa   |
| 2.     | <b>IST</b> | 1 688 | Alfa    | 17.    | <b>LED</b> | 253   | Gamma  |
| 3.     | <b>CDG</b> | 1 261 | Alfa +  | 18.    | <b>BCN</b> | 250   | Alfa - |
| 4.     | <b>FRA</b> | 995   | Alfa    | 19.    | <b>DUB</b> | 240   | Alfa - |
| 5.     | <b>SVO</b> | 899   | Alfa    | 20.    | <b>MAN</b> | 237   | Beta - |
| 6.     | <b>AMS</b> | 776   | Alfa -  | 21.    | <b>VCE</b> | 232   | x      |
| 7.     | <b>MAD</b> | 627   | Alfa    | 22.    | <b>KEF</b> | 227   | x      |
| 8.     | <b>DME</b> | 605   | Alfa    | 23.    | <b>LIS</b> | 225   | Alfa - |
| 9.     | <b>ORY</b> | 490   | Alfa +  | 24.    | <b>DUS</b> | 190   | Beta + |
| 10.    | <b>FCO</b> | 487   | Alfa -  | 25.    | <b>KBP</b> | 186   | Beta   |
| 11.    | <b>MUC</b> | 441   | Alfa -  | 26.    | <b>HEL</b> | 184   | Beta - |
| 12.    | <b>LGW</b> | 375   | Alfa ++ | 27.    | <b>ATH</b> | 156   | Beta + |
| 13.    | <b>ZHR</b> | 365   | Alfa    | 28.    | <b>CPH</b> | 150   | Beta + |
| 14.    | <b>VIE</b> | 294   | Alfa -  | 29.    | <b>LYS</b> | 135   | Beta - |
| 15.    | <b>MXP</b> | 287   | Alfa    | 30.    | <b>MRS</b> | 128   | x      |

*Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty, GaWC 2018*

Přitažlivost daných letišť pro lety z mimoevropských destinací je do jisté míry odrazem několika faktorů, resp. kombinací faktorů. Za prvé je to samotný globální význam



města (např. Londýn, Paříž, Moskva). Druhým faktorem je obsluhování historicko-kulturně spjatých území mimo Evropu. V případě francouzských letišť se jedná o silné vztahy s frankofonními částmi Afriky či zámořská francouzská území (např. Martinique, Guadeloupe, nebo St. Dennis). U lisabonského letiště (LIS) je to silný vztah s Brazílií. Třetím faktorem je turistická přitažlivost města (Řím – FCO, Benátky – VCE, Athény – ATH). Čtvrtým faktorem je geografická vzdálenost. Tento faktor je dobře vidět na případu letiště v Istanbulu, dále jsou to Moskevská letiště, u kterých více než polovina, z této množiny letů, směřuje do, v této práci vymezené, asijské části Ruska (SVO - 513, DME - 415). Blízkost severoamerického kontinentu je znát i u letiště Keflavík na Islandu (KEF).

Nejvýznamnější letecké proudy směřující z Evropy do jiných světových regionů, tedy Severní Amerika, Latinská Amerika, Afrika, Blízký Východ, Asie, Austrálie a Oceánie, zobrazují Tab. 11 a Tab. 12.

**Tab. 11:** *Vztahy evropských letišť se světovými regiony - 1. část*

| Pořadí        | Blízký Východ | Počet letů   | Pořadí        | Asie       | Počet letů   | Pořadí        | Severní Amerika | Počet letů   |
|---------------|---------------|--------------|---------------|------------|--------------|---------------|-----------------|--------------|
| 1.            | <b>IST</b>    | 1 057        | 1.            | <b>SVO</b> | 719          | 1.            | <b>LHR</b>      | 763          |
| 2.            | <b>LHR</b>    | 311          | 2.            | <b>DME</b> | 486          | 2.            | <b>CDG</b>      | 312          |
| 3.            | <b>FRA</b>    | 217          | 3.            | <b>LHR</b> | 421          | 3.            | <b>FRA</b>      | 309          |
| 4.            | <b>CDG</b>    | 182          | 4.            | <b>IST</b> | 281          | 4.            | <b>AMS</b>      | 241          |
| 5.            | <b>FCO</b>    | 147          | 5.            | <b>FRA</b> | 250          | 5.            | <b>KEF</b>      | 220          |
| 6.            | <b>MUC</b>    | 145          | 6.            | <b>VKO</b> | 246          | 6.            | <b>DUB</b>      | 197          |
| 7.            | <b>AMS</b>    | 139          | 7.            | <b>CDG</b> | 228          | 7.            | <b>MUC</b>      | 145          |
| 8.            | <b>SVO</b>    | 135          | 8.            | <b>LED</b> | 200          | 8.            | <b>FCO</b>      | 127          |
| 9.            | <b>DUS</b>    | 112          | 9.            | <b>AMS</b> | 176          | 9.            | <b>ZRH</b>      | 126          |
| 10.           | <b>DME</b>    | 110          | 10.           | <b>HEL</b> | 116          | 10.           | <b>LGW</b>      | 124          |
| <b>Celkem</b> |               | <b>4 966</b> | <b>Celkem</b> |            | <b>4 194</b> | <b>Celkem</b> |                 | <b>3 771</b> |

*Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty*

**Tab. 12:** *Vztahy evropských letišť se světovými regiony - 2. část*

| Pořadí | Afrika     | Počet letů | Pořadí  | Latinská Amerika | Počet letů | Pořadí | Austrálie a Oceánie | Počet letů |
|--------|------------|------------|---------|------------------|------------|--------|---------------------|------------|
| 1.     | <b>CDG</b> | 390        | 1.      | <b>MAD</b>       | 309        | 1.     | <b>LHR</b>          | 7          |
| 2.     | <b>ORY</b> | 344        | 2.      | <b>CDG</b>       | 149        |        |                     |            |
| 3.     | <b>IST</b> | 272        | 3.      | <b>AMS</b>       | 102        |        |                     |            |
| 4.     | <b>LHR</b> | 157        | 4.      | <b>ORY</b>       | 95         |        |                     |            |
| 5.     | <b>FRA</b> | 132        | 5.      | <b>FRA</b>       | 87         |        |                     |            |
| 6.     | <b>BRU</b> | 126        | 6.      | <b>LGW</b>       | 80         |        |                     |            |
| 7.     | <b>AMS</b> | 118        | 7.      | <b>LHR</b>       | 60         |        |                     |            |
| 8.     | <b>MRS</b> | 109        | 8. - 9. | <b>FCO</b>       | 50         |        |                     |            |
| 9.     | <b>MAD</b> | 101        | 8. - 9. | <b>LIS</b>       | 50         |        |                     |            |
| 10.    | <b>LYS</b> | 98         | 10.     | <b>MXP</b>       | 32         |        |                     |            |
| Celkem |            | 3 423      | Celkem  |                  | 1 162      | Celkem |                     | 7          |

*Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty*

Nejvíce letů směřuje z Evropy na Blízký Východ (4 966). To je dáno na jednu stranu hraničním postavením letiště Atatürk v Istanbulu (IST), a tím silné napojení na ostatní turecká letiště. Na druhou stranu je to silná orientace letecké společnosti Turkish Airlines právě na tento region, kde konkuruje především společnosti Emirates (Suau-Sanchez 2016). Po istanbulsém letišti hrají na Blízkém Východě důležitou roli letiště Heathrow (LHR), Frakfurt (FRA) a Charles de Gaulle (CDG).

Dalším významně obsluhovaným regionem z evropských letišť je Asie (4 194). I zde se projevují především domácí vazby moskevských a dalších ruských letišť (1 299). Silné vazby lze sledovat i do společenství nezávislých států (SNS - 456). Pokud odhlédneme od domácích vazeb, tak nejvýznamnějším přístupovým bodem do Asie je londýnské letiště Heathrow (LHR), ze kterého směřuje nejvíce letů do Jižní (128), Jihovýchodní (115) i Východní Asie (169). Frankfurtské (FRA) a pařížské (CDG) letiště slouží jako další přístupové body do Východní Asie (135, resp. 133 letů). Slabší konkurenci pro londýnské letiště v oblasti Jižní a Jihovýchodní Asie vytváří istanbulské letiště (IST - 67, resp. 57 letů). Severoamerický kontinent je obslužen 3 771 lety z Evropy. Také zde můžeme sledovat určité výsostné postavení letiště Heathrow, z něhož do Spojený států a Kanady vzlétá 20 % letů (763) mezi těmito kontinenty. Mimo jiných letišť (např. CDG, FRA, AMS) hraje důležitou roli islandské letiště Keflavík (KEF).

Velký objem letů směřuje také na Africký kontinent (3 432). Do tohoto regionu celkově směřují lety hlavně z Francie. Jasně dominantní postavení mají pařížská letiště (CDG a ORY), které dohromady odbaví 734 letů. Francouzská letiště obecně mají silné

vztahy hlavně s letišti v Severní Africe. Nejvýznamnější je zde letiště Orly (300 letů). Kromě pařížských letišť to jsou letiště v Marseille (MRS), lyonské letiště (LYS), Nantes (NTE), Bordeaux (BOD) či Toulouse (TLS). Všem těmto letišťům připadá více než 30 letů týdně. Subsaharská Afrika je pak nejčastěji dostupná z Paříže (CDG), Istanbulu (IST) a Londýna (LHR).

Do Latinské Ameriky nabízejí evropská letiště okolo 1 100 letů, z nichž největší část připadá letišti v Madridu (MAD). Také u Latinské Ameriky je rozdíl v obsluhování Střední Ameriky a Karibiku a Jižní Ameriky. V obou případech jasně dominuje madridské letiště (122, resp. 187). Druhým nejvýznamnějším bodem při letu do Střední Ameriky a Karibiku je Paříž s oběma svými letišti (84 a 83 letů). Ta je spojena hlavně s francouzskými územími Guadeloupe a Martinik. Přístupovými body pro Jižní Ameriku jsou pak, kromě Madridu, Amsterdam, Paříž a Lisabon. Poslední jmenovaný vykazuje nejsilnější vztahy s Brazílií.

Až na výjimku londýnského letiště (LHR) neexistují žádné přímé vztahy s Austrálií a Oceánií. Evropa je tak spojena s Austrálií pouhými 7 lety, a to konkrétně s městem Perth. V tomto případě naráží letecká doprava na fyzické bariéry, kdy i město Perth je na hranici doletové vzdálenosti současných dopravních letadel<sup>11</sup>.

#### **5.1.6. Globální dimenze (vnitroeuropejské i mimoevropské vztahy)**

Celkový počet nabízených letů, tedy součet letů směřujících do Evropy i do zbytku světa, je znázorněn v Tab. 13. V tomto globálním měřítku stále dominuje letiště Schiphol (AMS), avšak je zde vidět i silná dominance londýnského letiště Heathrow (LHR), které kromě mimoevropských letů nenaplnilo očekávání nejvytíženějšího letiště v Evropě (Eurostat 2018). Tento jev můžeme jednoduše přisoudit zvolené metodice, kdy je sledován pouze počet letů. Porovnáme-li podíl letů směřujících do Evropy, který činí v případě AMS 81,3 % a v případě LHR 53,9 %, zjistíme větší orientaci na zbytek světa u londýnského letiště. Právě tato orientace způsobuje rozdíl v počtu letů mezi těmito letišti, a to z důvodu využití velkokapacitních letadel<sup>12</sup> na dlouhé trasy, a naopak využití klasických<sup>13</sup> dopravních letadel na krátké trasy. Růst nejvýznamnějšího londýnského letiště byl již v poslední dekádě

---

<sup>11</sup> Maximální dolet má letadlo Airbus A340-400 s doletem 16 670 km (Airbus 2018). Vzdálenost Istanbulu a východního pobřeží Austrálie je přibližně 14 500 km. Jedná se ovšem o doletovou vzdálenost za ideálních podmínek.

<sup>12</sup> Do velkokapacitní kategorie letadel spadají letadla, která mají kapacitu více než 200 cestujících, např. Airbus 380 (až 853 cestujících), Boeing 747 (až 720 cestujících), Airbus 330 (až 440 cestujících) nebo Boeing 777 (až 550 cestujících).

<sup>13</sup> Mezi klasická dopravní letadla v této práci spadají všechna letadla, která mají kapacitu menší než 200 cestujících. Nejběžnějšími druhy jsou Boeing 737-800 (až 189 cestujících), Airbus 319 a 320 (až 156, resp. až 180 cestujících).

značně omezen. Toto omezení se nejvíce projevuje ve specializaci londýnských letišť (Suau-Sanchez a kol. 2016).

**Tab. 13:** Celková vážená přímá konektivita –  $s_i$

| Pořadí | IATA kód | $s_i$ | GaWC    | Pořadí | IATA kód | $s_i$ | GaWC    |
|--------|----------|-------|---------|--------|----------|-------|---------|
| 1.     | AMS      | 4 145 | Alfa -  | 16.    | ORY      | 1 718 | Alfa +  |
| 2.     | LHR      | 3 712 | Alfa ++ | 17.    | VIE      | 1 655 | Alfa -  |
| 3.     | CDG      | 3 665 | Alfa +  | 18.    | MAN      | 1 497 | Beta -  |
| 4.     | FRA      | 3 202 | Alfa    | 19.    | DUS      | 1 473 | Beta +  |
| 5.     | IST      | 2 879 | Alfa    | 20.    | DME      | 1 470 | Alfa    |
| 6.     | MAD      | 2 823 | Alfa    | 21.    | LIS      | 1 455 | Alfa -  |
| 7.     | SVO      | 2 603 | Alfa    | 22.    | MXP      | 1 375 | Alfa    |
| 8.     | MUC      | 2 555 | Alfa -  | 23.    | ATH      | 1 368 | Beta +  |
| 9.     | FCO      | 2 327 | Alfa -  | 24.    | STN      | 1 364 | Alfa ++ |
| 10.    | BCN      | 2 264 | Alfa -  | 25.    | GVA      | 1 297 | Beta -  |
| 11.    | LGW      | 2 182 | Alfa ++ | 26.    | OSL      | 1 294 | Beta    |
| 12.    | ZRH      | 1 901 | Alfa    | 27.    | ARN      | 1 292 | Alfa -  |
| 13.    | BRU      | 1 824 | Alfa    | 28.    | PMI      | 1 286 | x       |
| 14.    | DUB      | 1 801 | Alfa -  | 29.    | WAW      | 1 253 | Alfa    |
| 15.    | CPH      | 1 772 | Beta +  | 30.    | TXL      | 1 118 | Beta    |

Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty, GaWC 2018

Dalšími celosvětově významnými letišti jsou Charles de Gaulle (CDG) zastupující Paříž a Frankfurt (FRA), které za týden odbaví více než 3 000 letů. Následují letiště Atatürk (IST), Barajas (MAD), Šeremetevo (SVO), Mnichov (MUC), Fiumicino (FCO), El Prat (BCN) a Gatwick (LGW) s více než 2 000 lety za týden.

#### 5.1.7. Hodnocení letišť z hlediska všech charakteristik

Na základě výše uvedených a analyzovaných charakteristik můžeme identifikovat nejvýznamnější letecké uzly v Evropě. Z výše uvedených hodnot jednotlivých charakteristik nám vyplývá jasná dominance amsterdamského letiště Schiphol (AMS) v rámci evropské dimenze letecké dopravy. Toto letiště nabízí největší počet obslužených destinací (138), nejvyšší frekvenci letů (3 369) a je také nejdostupnější pro ostatní zkoumaná letiště. Zároveň je letiště Schiphol významným spojovacím uzlem pro letiště, které nemají mezi sebou přímé letecké spojení. Slabší, avšak stále silné postavení zaujímá v nabídce letů do zbytku světa. To je dáno především silnou orientací na evropský region (81,3 %). Význam amsterdamského letiště spočívá jistě i v konkurenčním boji letecké společnosti KLM a British Airways, jehož vítězem se zdá být nizozemská společnost KLM. Důsledkem je významnější využívání amsterdamského letiště britskými cestujícími, kteří nepocházejí

z jihovýchodní Anglie, pro přestupní lety (Suau-Sanchez a kol. 2016). To dokazují i počty letů z nelondýnských letišť do AMS (539) a do LHR (341).

Dalšími důležitými leteckými uzly v Evropě jsou letiště El Prat v Barceloně (BCN) a letiště Frankfurt (FRA). Z těchto letišť je možné navštívit druhý největší počet destinací v Evropě (129) a jsou také druhými nejcentrálnějšími nody z hlediska potenciálních přestupních příležitostí a letové vzdálenosti od ostatních uzlů. Frankfurtské letiště je pak o něco významnější ve frekvenci letů. Hlavní německá letiště (FRA, MUC) mají obecně silné postavení v rámci všech charakteristik. To je dáno strategií letecké společnosti Lufthansa, která v těchto letištích provozuje „hub“. Strategií společnosti Lufthansa bylo a do dnešní doby je zaměření na jeden primární „hub“, kterým je Frankfurt. Letiště v Mnichově pak, společně s letištěm v Curychu (ZRH), v Bruselu (BRU) a ve Vídni (VIE)<sup>14</sup> slouží jako sekundární „hub“. K rozvoji a růstu letiště Mnichov došlo poté, co na Frankfurtském letišti byly dosaženy limitní stavy kapacit. Pro tento druh strategie je typické, že se ani jeden „hub“ nespecializuje na jeden segment trhu, ale zároveň ani nejsou konkurenční (Burghouwt 2014). V dnešní době je Mnichov jedním z nejvýznamnějších letišť z hlediska konektivity v Evropě. Za terciální „hub“ lze považovat letiště Düsseldorf, které ovšem nedosahuje významnosti svých německých kolegů, avšak je v Evropě stále významné.

Důvodem významnosti barcelonského letiště je kromě atraktivity města (ekonomické a turistické), také strategické rozhodnutí letecké společnosti Iberia. Specifikem těchto aerolinek bylo, že provozovali dvojitý „hub“ v Barceloně a v Madridu. Tato strategie ovšem nebyla efektivní a po dostavení nového terminálu a dvou nových paralelních runwayí na madridském letišti v roce 2006, lze letiště El Barajas (MAD) považovat jediný „hub“ společnosti Iberia. Barcelonské letiště se naopak stalo „hubem“ pro dceřinou společnost Vueling, která figuruje jako nízkonákladovka a je tudíž zaměřena převážně na evropský trh (Suau-Sanchez a Burghouwt 2012). Na rozdíl od předchozího případu, jsou tato dvě letiště zaměřena na rozdílné segmenty trhu, a tudíž se každé z nich rozvíjí nezávisle na sobě. To má za následek jasnou dominanci BCN v evropském kontextu, avšak větší významnost MAD v transkontinentální přepravě, kde figuruje jako prvotní brána pro latinskoamerický kontinent.

---

<sup>14</sup> Poté co v roce 2005 společnost Lufthansa převzala společnost Swiss Air (Swiss 2018). To samé platí pro Austrian Airlines a Brussels Airlines, které se staly součástí Lufthansa Group v roce 2009 (Burghouwt 2014).

Dalším významným evropským uzlem je letiště Brussels (BRU), které svojí evropskou významností předčí londýnská, pařížská i madridská letiště. Toto letiště významněji ztrácí ve frekvenční přímé konektivitě, na druhou stranu je významné v počtu obsluhovaných destinací (115), v přestupním potenciálu i dostupnosti z jiných letišť.

Největší i nejvýznamnější pařížské letiště Charles de Gaulle (CDG) je druhé největší v počtu letů směřující do Evropy (2 404) a je poměrně silné i v jiných ukazatelích konektivity. Na toto letiště je nutné se podívat v kontextu letiště Schiphol, jelikož obě tato letiště podléhají strategii společnosti Air France-KLM. Dříve dvě samostatné společnosti se v roce 2003 spojily v jednu společnost. Na rozdíl od ostatních akvizic leteckých společností (např. Lufthansa Group) měly tyto společnosti svůj velice dominantní „hub“ (CDG, AMS), a to i díky intervenci nizozemské vlády. V rámci své společnosti jsou obě letiště zaměřena na různé segmenty transkontinentální přepravy, a proto jde v rámci této společnosti spíše o doplňování obou letišť (Burghouwt 2014). Lepší postavení oproti amsterdamskému letišti v rámci transkontinentální úrovně je dáno postavením v hierarchii měst (Alfa +) i větší turistickou atraktivitou.

Svoji důležitost nepochybně mají i londýnská letiště. Jmenovitě se jedná o Gatwick (LGW), Heathrow (LHR) a Stanstad (STN). Všechna tato letiště těží z významnosti Londýna jako nejvýznamnějšího světového města, které je zároveň turisticky atraktivní. Přesto ani jedno z nich není na špičce významnosti evropského leteckého prostoru. To je dáno specializací jednotlivých letišť. V globálním měřítku je nejdominantnějším letištem Heathrow, které je z tohoto pohledu nejvýznamnější mezi všemi letišti v Evropě, avšak právě tato dominance ubírá na významnosti v rámci evropského kontinentu. Úlohu majoritního uzlu v Evropě tak přebírá letiště Gatwick, které si částečně podrželo svoji „hub“ strukturu<sup>15</sup> a letiště Stanstad, které je využíváno především nízkonákladovými společnostmi využívající „point-to-point“ strategii. Z agregačního hlediska je samotné město Londýn nejlépe dostupným městem, které je obslouženo 6 461 evropskými lety. Pro porovnání druhým městem je Paříž (3 632) a třetí Amsterdam (3 369).

---

<sup>15</sup> Letiště Gatwick sloužilo jako sekundární „hub“ společnosti British Airways do roku 2000 (Burghouwt a De Wit 2005).

Za komplexně důležité uzly můžeme považovat i letiště Schwechat ve Vídni (VIE), Fiumicino v Římě (FCO), Dublin (DUB), Manchester (MAN), Ženeva (GVA) a severská letiště Kodaň (CPH) a Arlanda ve Stockholmu (ARN).

Z určitého hlediska jsou významnými uzly i moskevská letiště Šeremetevo (SVO) a Domodedovo (DME), která ale díky své poloze nehrají primární roli v rámci evropské distribuce letecké dopravy. Z hlediska konektivity a převážně obsluhováním unikátních destinací jsou významnými lešiti také Alicante (ALC), Letiště Václava Havla (PRG) a Malaga (AGP). Nelze opomenout i významnost letišť v Athénách (ATH), Hamburku (HAM), Helsinkách (HEL), Lisabonu (LIS) a Milánu (MXP).

Jak vyplývá z analýzy, národní centra jsou dominantnější z hlediska objemu (frekvence) letů na evropské i světové úrovni. V tomto ohledu konkurují dalším leteckým uzlům, které jsou jinak dominantní z hlediska evropské konektivity. Příčinou je právě jejich, z velké míry, zaměření na mezikontinentální přepravu, pro kterou jsou typické tzv. přípojové lety (z angl. feeders) z neuzlových letišť. Výsledkem je pak slabší nabídka evropských destinací, ale obsluhované destinace jsou propojeny intenzivněji.

Většina vyjmenovaných letišť slouží jako „hub“, ať už primární, sekundární či terciální, pro jednu leteckou společnost. Je jasné, že čím významnější letecká společnost, tím dostává na významu i letiště.

Porovnáním uzlových letišť v Evropě a postavení měst, která obsluhují, v hierarchické struktuře světových měst GaWC zjistíme, že se výrazně neliší. Alespoň v jednom ukazateli se mezi 30 nejlépe hodnocených letišť dostalo každé Alfa město s výjimkou Lucemburku. Najdeme mezi nimi i města Beta a dva případy města Gama. Především v konektivních ukazatelích uspěly i některá letiště nepatřící k žádnému světovému městu. Ve všech případech se jedná o španělská letiště obsluhující přímořské destinace.

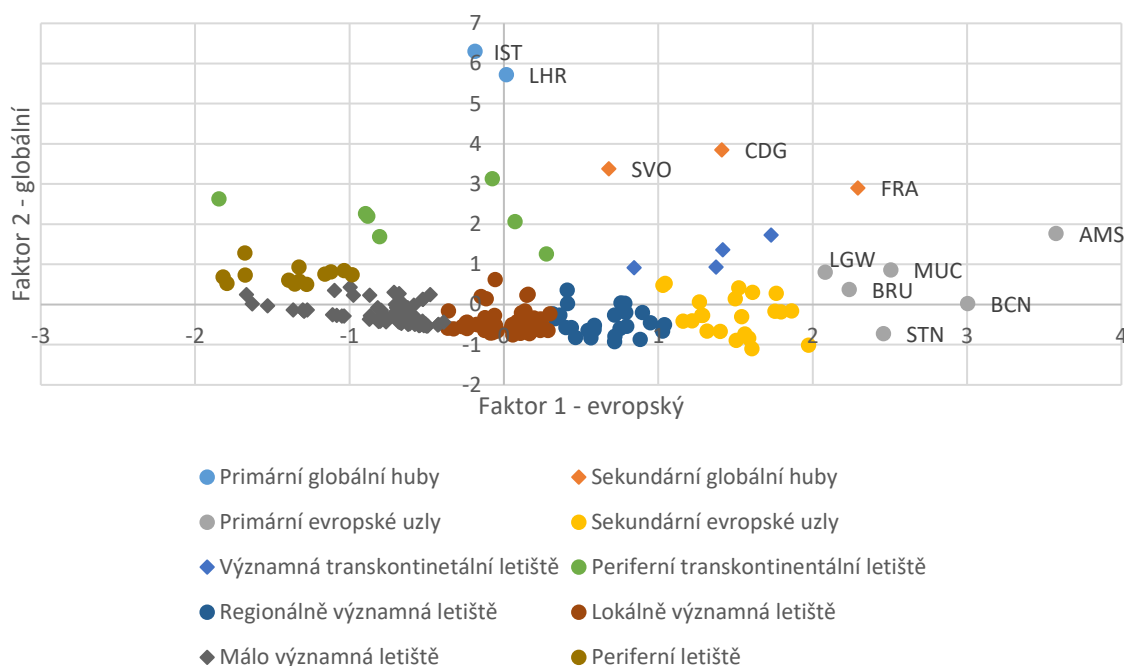
## 5.2. Role letišť a jejich klasifikace

V předchozí kapitole byly popsány nejvýznamnější letecké uzly v Evropě a již z tohoto základu lze odhadovat jejich roli v rámci sítě. Tato kapitola navazuje na předchozí výsledky a jejím cílem je podívat se na tyto charakteristiky z komplexního pohledu.

Posouzení rolí a klasifikace letišť je provedena pomocí shlukové analýzy, které předchází faktorová analýza. Už provedením faktorové analýzy zjistíme, že veškeré charakteristiky lze utřídit pomocí dvou hledisek/faktorů. První hledisko do sebe zahrnuje především charakteristiky týkající se hodnocení konektivity letišť v rámci Evropy, tedy vnitřní vztahy. Jedná se o přímou konektivitu, váženou přímou konektivitu, mezilehlou konektivitu a linkovou konektivitu. Druhé hledisko pak tvoří charakteristiky, jejichž hlavním cílem je ukázat vztahy směřující mimo Evropu – podíl letů směřujících do Evropy a počet letů směřujících mimo Evropu, resp. vážená přímá konektivita mimo Evropu.

Pomocí těchto dvou faktorů byla provedena shluková analýza, podle které lze evropská letiště rozdělit na celkem 10 shluků – Primární globální uzly, Sekundární globální uzly, Primární evropské uzly, Sekundární evropské uzly, Významná transkontinentální letiště, Periferní transkontinentální letiště, Středně významná letiště, Regionálně významná letiště, Lokálně významná letiště a Periferní letiště. Rozložení letišť podle faktorových vah a jejich geografické rozmístění jsou znázorněny na Obr. 6 a Obr. 7.

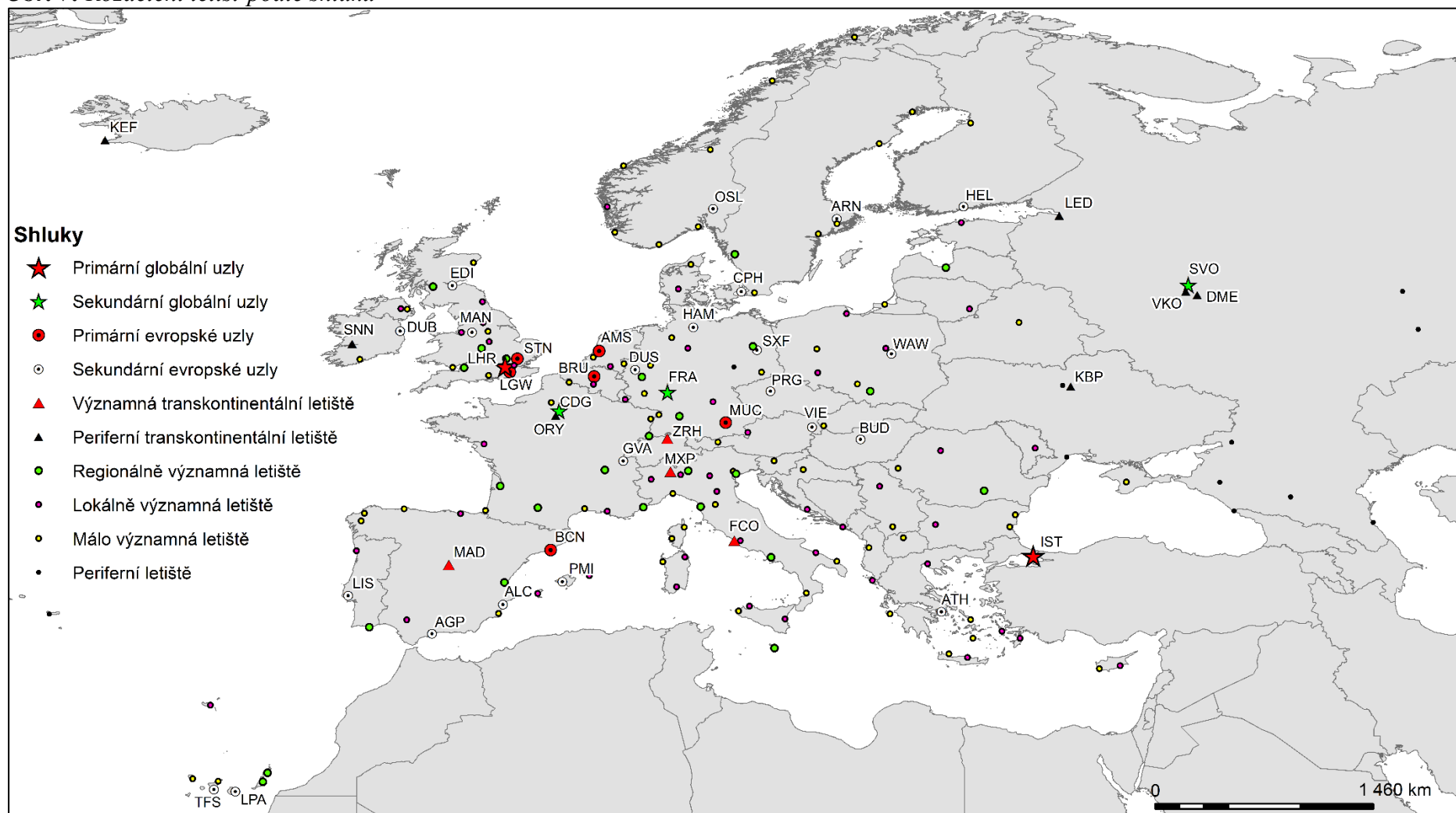
**Obr. 6:** Rozložení letišť dle faktorových zátěží



Zdroj: *FlighConnections 2018, SPSS (2018)*



Obr. 7: Rozdělení letišť podle shluků



Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty, ArcGIS 2018

### *1. Primární globální uzly*

Tento shluk je tvořen letišti Heathrow (LHR) a Atatürk (IST). Jedná se o letiště, která jsou mimořádně silně napojena do globální sítě. Tato letiště nabízejí v průměru 1 700 letů týdně směřujících na ostatní kontinenty. Zároveň jejich nabídka letů v Evropě je značně omezena na 48 % všech letů. Z hlediska evropské konektivity jsou o něco slabší nežli sekundární evropských uzlů, avšak jejich nabídka počtu letů v Evropě je vyšší. To je důsledek jejich globální dimenze, která je spojena se silnou základnou přípojových letů.

### *2. Sekundární globální uzly*

Jako sekundární globální uzly jsou klasifikovány letiště Charles de Gaulle (CDG), Frankfurt (FRA) a Šeremetevo (SVO). Jejich zapojení do globální sítě je slabší než u primárních globálních uzlů, přesto je velice silné. Na druhou stranu jejich konektivita v rámci Evropy je velice významná. Dosahují druhé nejvyšší mezilehlé konektivity, jejich podíl evropských letů dosahuje v průměru 67 %. Stejně jako v předchozím případě mají tato letiště silnou základnu přípojových letů, která je mezi evropskými letišti nejvyšší (2 105).

### *3. Primární evropské uzly*

Třetí shluk tvoří 6 nejvýznamnějších letišť v rámci evropské letecké dopravy. Pro tato letiště je typické velmi silné postavení ve všech hodnotách konektivity. Jejich globální aspekt nedosahuje významu globálních letišť, v průměru pouze 367 letů mimo Evropu, ale podíl evropských letů (86 %) stále představuje významné postavení. To dokazuje, že některé primární evropské uzly neplní pouze roli evropských letišť. Nejvýznamnějším letištěm v tomto shluku je Schiphol (AMS), dále jsem patří letiště El Prat (BCN), Mnichov (MUC), Brusel (BRU) a londýnská letiště Gatwick (LGW) a Stanstad (STN).

### *4. Sekundární evropské uzly*

K tomuto shluku patří 22 letišť, jejichž hlavní devízou je orientace na evropský letecký prostor. Jedná se především o letiště, která jsou významná v určité charakteristice a jsou v zázemí světových měst, výjimku tvoří významné turistické destinace Palma Malorca (PMI), Alicante (ALC), Malaga (AGP) a dvě letiště na kanárských ostrovech (LPA a TFS). Všechna tato letiště se umístila mezi nejdůležitějšími letišti, především z hlediska mezilehlé konektivity. Stejný případ představují i letiště v Praze (PRG), Helsinkách (HEL), Kodani (CPH), Oslu (OSL) a Stockholmu (ARN). Zbylá letiště jsou pak významná v nabídce destinací a počtu uskutečněných letů.

### *5. Významná transkontinentální letiště*

Mezi tato letiště jsou zařazeny Barajas (MAD), Fiumicino (FCO), Curych (ZRH) a Miláno Malpensa (MXP). Tato letiště se vyznačují relativně silnou konektivitou v rámci Evropy, a kromě přestupního potenciálu ( $C_B(i)$ ) jsou významnější než sekundární evropské uzly. Na rozdíl od globálních uzlů je jejich globální potenciál slabší, ale přesto překračují hodnoty evropských uzlů. Zde se také projevují faktory přípojových letů, ale v menší míře a také z méně unikátních destinací v Evropě (viz mezilehlá konektivita). Zároveň slouží i jako vstupní brány na jiné kontinenty.

### *6. Periferní transkontinentální letiště*

Tento shluk letišť je nejméně homogenní, ale i přesto se zde najdou společné ukazatele. Jedná se o 6 letišť, které lze označit za periferní z pohledu vymezené evropské letecké sítě. Jmenovitě sem patří letiště Domodědovo (DME), Vnukovo (VKO), Kyjev-Borispol (KBP), Petrohrad (LED), Keflavík (KEF) a Shannon (SNN), která jsou periferní i geograficky. Dále jsem patří pařížské letiště Orly (ORY) s periferní polohou v rámci evropské letecké sítě. Tato perifernost se projevuje slabší konektivitou v Evropě, ale silnými vztahy navenek. V porovnání s globálními a významnými transkontinentálními letišti se jejich vztahy upírají pouze na jeden geograficky nejbližší region. Výjimku tvoří letiště Orly se svojí orientací hlavně do severní Afriky a Latinské Ameriky.

### *7. Regionálně významná letiště*

Do shluku regionálně významných letišť je zařazeno 25 letišť, které obsluhují relativně velká města, ale jejich význam v letecké síti je omezený pouze na určitý region, ve kterém mohou fungovat jako uzlové letiště. Tato letiště jsou většinou v regionech, které nejsou obslouženy primárními ani sekundární evropské uzly. Jedná se tak například o města ve Francii (Toulouse, Bordeaux, Lyon), v Německu (Kolín nad Rýnem, Stuttgart), hlavní města méně ekonomicky významných států (Bukurešť, Riga) či turisticky atraktivní kanárské ostrovy.

### *8. Lokálně významná letiště*

Lokálně významná letiště jsou ještě méně zapojena do evropské letecké sítě. Přestože nabízejí kvalitní nabídku destinací i letů, jedná se hlavně o napojení na významnější uzly, a tím se jim omezuje jejich vlastní přestupní potenciál. Do tohoto shluku patří 49 letišť, mezi které patří oblíbené přímořské destinace a další lokálně významná města.

## 9. Málo významná letiště

Jako málo významná letiště můžeme označit 68 letišť, která mají omezenou nabídku destinací i letů a zároveň jejich konektivita je také nevýznamná.

## 10. Periferní letiště

Periferní letiště jsou na tom se svojí významností stejně jako málo významná letiště, s tím rozdílem, že jejich portfolio tvoří významný podíl letů směřujících mimo Evropu. Jedná se o 12 ruských letišť, která jsou díky své periferní poloze na hraně evropské letecké sítě. Výjimku tvoří letiště v Leipzigu (LEJ) u něhož je 20 % letů směřováno mimo Evropu. Všechna tato letiště jsou tak v Evropě méně významná, ale v celkovém pohledu se jejich význam zvyšuje. Souhrn průměrných hodnot jednotlivých charakteristik všech shluků podává Tab. 14.

**Tab. 14:** Průměrné hodnoty charakteristik podle shluků

| Shluk | $\bar{\phi} k_i$ | $\bar{\phi} s_i$ – Evropa | $\bar{\phi} C_B(i)$ | $\bar{\phi} C_C(i)$ | $\bar{\phi}$ evropa (%) | $\bar{\phi} s_i$ – svět |
|-------|------------------|---------------------------|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|
| 1     | 86,5             | 1 595,5                   | 256,1               | 310,5               | 47,6                    | 1 700,0                 |
| 2     | 103,0            | 2 105,0                   | 412,1               | 293,7               | 66,7                    | 1 051,7                 |
| 3     | 121,7            | 2 025,8                   | 475,4               | 275,0               | 86,0                    | 363,2                   |
| 4     | 93,5             | 1 086,3                   | 238,4               | 303,3               | 91,6                    | 110,0                   |
| 5     | 100,3            | 1 665,0                   | 199,6               | 296,0               | 79,2                    | 441,5                   |
| 6     | 43,7             | 621,1                     | 118,3               | 359,6               | 65,0                    | 303,4                   |
| 7     | 71,5             | 591,2                     | 100,4               | 327,8               | 94,1                    | 42,7                    |
| 8     | 47,1             | 327,5                     | 36,8                | 356,0               | 96,2                    | 15,6                    |
| 9     | 19,9             | 140,5                     | 6,3                 | 399,2               | 97,1                    | 4,4                     |
| 10    | 14,2             | 149,2                     | 6,4                 | 437,8               | 85,0                    | 26,0                    |

Zdroj: FlighConnections 2018, vlastní výpočty

## 6. CHARAKTERISTIKA EVROPSKÉ LETECKÉ SÍTĚ

### 6.1. Topologické charakteristiky sítě

Zkoumaná evropská letecká síť čítá dohromady 199 letišť, jejichž velikost a zapojení do sítě se výrazně liší. V souboru jsou zahrnuty pouze evropská letiště s více než 1 mil. cestujících za rok 2016. Existuje mezi nimi 4 772 přímých spojení (únor 2018), na nichž je možné absolvovat 197 776 letů týdně. Nejvíce letů, tedy nejvyšší váha přímé konektivity mezi dvěma letišti, je možné uskutečnit mezi letišti na Kanárských ostrovech Las Palma (LPA) a Tenerife Norte (TFN). Mezi oběma letišti existuje 386 přímých letů. Další významnou dvojici tvoří letiště Frankfurt (FRA) a Berlín-Tegel (TXL) se 376 přímými letů a Paříž-Orly (ORY) a Toulouse (TLS) se 248 přímými letů. Přes 200 přímých letů má v Evropě celkem 15 dvojic letišť. Charakteristika evropské sítě se vztahuje pouze na vnitřní vztahy, tedy nejsou zahrnuty lety směřující mimo zvolený soubor letišť.

Dalšími charakteristikami evropské letecké sítě jsou tzv. topologické charakteristiky, které nám udávají fungování sítě jako celku. Jedná se o *rozložení (vážené) přímé konektivity, průměrnou délku cesty a shlukovací koeficient*. Na základě těchto charakteristik pak můžeme určit její typ z hlediska velikostního rozložení, shlukování a obtížnosti pohybu. Jedná se především o dva typy sítě:

- 1) „Scale-free“, ve které se nachází malý počet velmi významných letišť a velký počet málo významných letišť,
- 2) „Small-world“, ve které je možné snadno dosáhnout ostatních letišť bez toho, aby tato letiště měla přímé spojení.

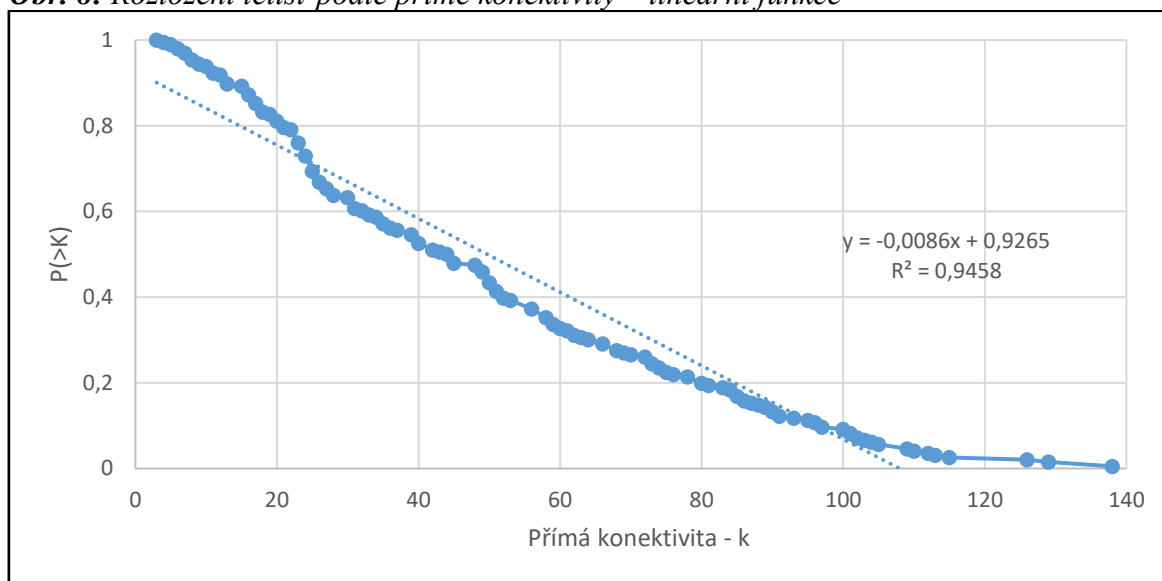
#### 6.1.1. Rozložení (vážené) přímé konektivity

První topologickou charakteristikou sítě je **rozložení letišť dle jejich (vážené) přímé konektivity**, podle níž zjistíme, jestli je v síti výrazná hierarchická struktura a jedná se tedy o síť typu „scale-free“ (SF). Tato charakteristika nám udává jaký podíl letišť ( $P(>k)$ ) dosahuje určité úrovně přímé konektivity ( $k$ ).

Na Obr. 8 je zobrazeno rozložení letišť podle přímé konektivity. Již na první pohled je zřejmé, že rozložení kopíruje spíše lineární funkci. To potvrzuje i koeficient determinace ( $R^2 = 0,9458$ ). Podíváme-li se na průběh funkce, je zřejmé, že dochází k poklesu významnosti přímé konektivity lineárně, a z tohoto pohledu můžeme mluvit o hierarchické

strukturu. Na druhou stranu tato hierarchická struktura není nijak významná z pohledu podřízenosti jednotlivých letišť, a proto nelze mluvit o síti typu „scale-free“.

**Obr. 8:** Rozložení letišť podle přímé konektivity – lineární funkce



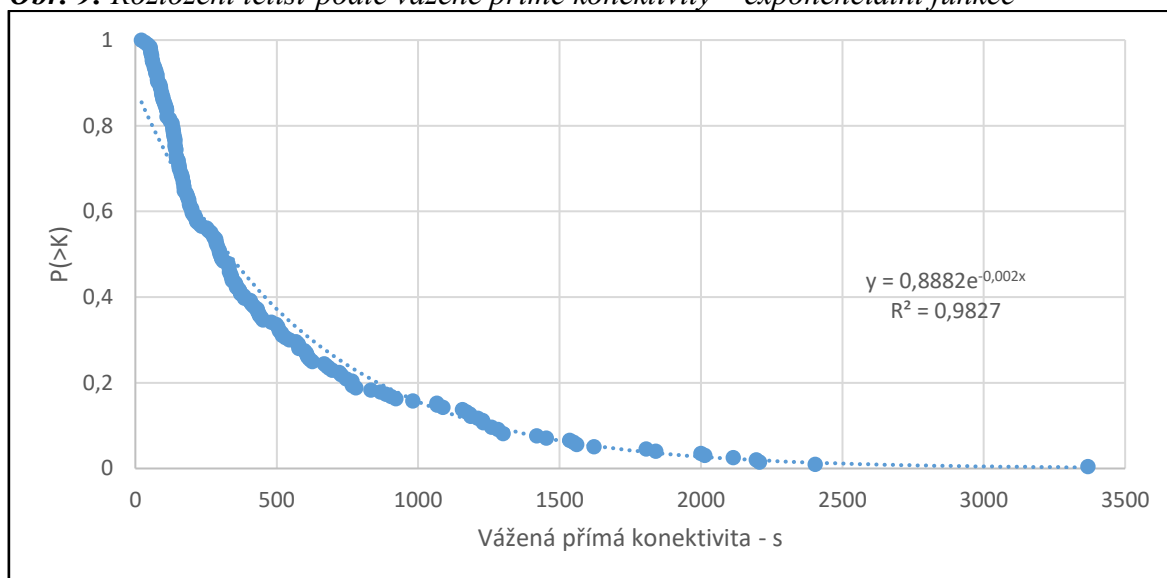
Zdroj: *Flightconnections 2018, vlastní výpočty*

Přidáním váhy v podobě počtu letů (viz Obr. 9) získáme naopak silnou hierarchickou strukturu, která kopíruje exponenciální funkci ( $R^2 = 0,9827$ ). Zde jasně vidíme, že některá letiště jsou výrazněji dominantnější než ostatní. Významnost pak razantně klesá se snižující se hierarchickou úrovní. U rozložení podle této charakteristiky, můžeme mluvit o síti typu „scale-free“, přestože je pro ni typická mocninná funkce s pomalejším poklesem významnosti (Wang a kol. 2011). V praxi to znamená, že by zde měl být větší podíl středně velkých letišť, avšak hierarchická struktura je patrná.

Důvodem pro rozdílnost rozložení obou charakteristik je zřejmě kombinace nasycenosti trhu s nabídkou destinací (přímá konektivita) a omezením velikosti sítě pouze na evropské lety a letiště určité velikosti. Z hlediska nasycenosti trhu je nutné si uvědomit, že evropský letecký trh byl až do roku 1988 regulován, a tím docházelo k vytváření hierarchické struktury uvnitř samostatných států a vzniku více uzlových letišť stejné úrovně. Evropská letecká síť se tak nevyvíjela jako jeden celek. To má v dnešní době za následek, že i letiště, z celoevropského pohledu málo významná, obsluhují dostatečný počet evropských destinací. Dalším důvodem je méně výrazná adopce systému „hub-and-spoke“ pro evropské lety díky kratším vzdálenostem, národním zájmům a konkurencí od jiných druhů přepravy. Roli hraje také strategie leteckých společností, kdy k úsporám z rozsahu dochází navýšením kvality obsluhovaných destinací, spíše než rozšiřováním portfolia přímo napojených destinací. Z hlediska omezenosti sítě, ať už zaměřením či výběrem letišť,

dochází ke ztrátě informace z druhé poloviny celého evropského vzorku. Tzv. ocas by se pro tuto druhou polovinu již limitně blížil nule.

**Obr. 9:** Rozložení letišť podle vážené přímé konektivity – exponenciální funkce



Zdroj: *Flightconnections 2018, vlastní výpočty*

Na druhou stranu, výše uvedené důvody stojí za silnější hierarchickou strukturou dle vážené přímé konektivity. Díky regulaci a vytváření národních letištních center, vzniklo v Evropě několik dominantních uzlů, na které je vázáno další rozšiřování kvalit. Systém „hub-and-spoke“ pro transkontinentální lety dále způsobil zvýšení počtu přípojových letů z již obsluhovaných destinací.

### 6.1.2. Průměrná délka cesty a shlukovací koeficient

Další topologickou charakteristikou sítě je **průměrná délka cesty** (L), která nám udává průměrný počet letů, které je nutné absolvovat mezi všemi letišti. S touto charakteristikou souvisí i diametr neboli vzdálenost, vyjádřená počtem letů, mezi dvěma nejvzdálenějšími letišti. Pro určení typu sítě je nutné hodnoty těchto charakteristik porovnat s hodnotami v náhodné síti, která obsahuje stejný počet uzlů, ale hrany mezi nimi vznikají náhodně. Tento přehled podává Tab. 15.

Průměrná délka cesty dosahuje v evropské letecké síti hodnoty 1,827. Tato hodnota znamená, že mezi většinou párů letišť je nutné absolvovat méně než 1 přestup. To je dáno velkým počtem přímých spojení mezi letišti, ale i malým diametrem sítě. V porovnání s náhodnou sítí, kde při stejné velikosti je nutné absolvovat u většiny letišť 1 a více přestupů a vzdálenost mezi dvěma nejvzdálenějšími letišti vzroste o 2 přestupy. Toto svědčí

o vyzrálosti a efektivnosti sítě, kde je možné rychle se pohybovat ve smyslu počtu nutných přestupů.

**Tab. 15:** Porovnání charakteristik s náhodnou sítí

| Charakteristika       | Náhodná síť | Evropská letecká síť |
|-----------------------|-------------|----------------------|
| Počet uzlů            | 199         | 199                  |
| Počet hran            | 982         | 4772                 |
| Shlukovací koeficient | 0,052       | 0,522                |
| Průměrná délka cesty  | 2,552       | 1,827                |
| Diametr               | 5           | 3                    |

*Zdroj: SW – Gephi 2018, Flightconnections 2018, vlastní výpočty*

Poslední topologickou charakteristikou evropské sítě je **shlukovací koeficient**, který nám říká, jaká je pravděpodobnost, že jsou dvě letiště spojena přímým letem mezi sebou, jsou-li obě letiště napojená na třetí letiště. Stejně jako v předchozím případě jsou hodnoty shlukovacího koeficientu vyšší než v případě náhodné sítě. Dle toho lze usuzovat i na komunitní strukturu sítě.

Na základě obou charakteristik tak lze evropskou leteckou síť označit za typ „small-world“, ve které je možné se rychle pohybovat i bez přítomnosti uzlových letišť. Jinými slovy, přestože zde existuje hierarchické uspořádání, především z hlediska kvality vážené přímé konektivity, nejsou uzlová letiště nezbytná pro organizaci evropské letecké dopravy.



## 6.2. Komunitní struktura evropských letišť

Základním předpokladem pro vznik komunit, nejen v evropské letecké síti, je vysoká hodnota shlukovacího koeficientu. V případě evropské letecké sítě je tato hodnota (0,552) v porovnání s náhodným grafem (0,052) vyšší a můžeme tedy očekávat, že evropská letiště tvoří ve své síti komunity. Ke zjištění, které komunity v Evropě vznikají, byla využita procedura software Gephi tzv. modularita. Jejím úkolem je rozdělit letiště do komunit (modulů) na základě silných vnitřních vztahů a slabých vnějších vztahů.

Podíváme-li se na zkoumaná evropská letiště z pohledu modularity, tak zjistíme, že celá síť je nejkompaktnější při rozdělení do devíti komunit (viz Obr. 10). Při takovémto rozdělení dosahuje modularita nejvyšších hodnot, a to 0,29. V praxi jsou považovány za silné takové komunitní struktury, které dosahují hodnot v rozmezí 0,3 - 0,7 (Newman a Girvan 2004). Z tohoto důvodu lze považovat evropskou komunitu za hraniční ve své významnosti. Jako jeden celek dosahuje evropská letecká síť modularity 0, protože všechny letiště patří k jedné komunitě. Rozdělením na dvě komunity, v tomto případě dochází v posledním kroku ke spojení celoevropské a ruské komunity, dosáhneme hodnot 0,078, při které již nelze mluvit o komunitní struktuře. To je dáno především heterogenitou uvnitř celoevropské komunity, naopak ruská komunita působí velice homogenně.

Jak již bylo výše zmíněno, je možné identifikovat 9 komunit. Dle rozsahu se jedná o Německo-balkánskou (39 letišť), Britskou (37), Italskou (25), Skandinávii a Pobaltí (24), Střední a východní Evropa (19), Francouzsko-portugalskou (18), Ruskou (17), Španělskou (15) a Kanárské ostrovy (5).

Obecně lze říci, že všechny komunity jsou výsledkem především vztahů v rámci národních států či geograficky blízkých regionů. Důvodem pro vznik národních komunit je logické provázání letišť se svými národními centry, ale i mezi ostatními letišti v rámci státu. Dalším faktorem, které lze zřetelně vidět na obrázku níže, je určitá rozloha samotného státu, resp. počet letišť v daném státu. Francie, Itálie, Německo, Španělsko, Rusko a Velká Británie tvoří jádra svých komunit. Ostatní státy jsou pak příliš malé, aby vytvořily vlastní komunitu, a z toho důvodu se připojují k těmto jádrům nebo vytváří své vlastní spojené komunity. Až na výjimku ruské komunity, patří veškerá národní jádra státům západní Evropy. Ovšem ve všech těchto jádrech se nachází letiště, které lze označit alespoň z části za světově významné nebo za primární evropské uzly (viz Obr. 10). Dalším typickým rysem

komunit jsou letiště působící jako enklávy v daných komunitách. To je dáno jistou specializací a orientací konkrétních letišť.

Největší komunitou je Německo-balkánská, kterou tvoří 39 letišť. Jádrem této komunity tvoří německá letiště Frankfurt a Mnichov a na balkánské straně je to letiště v Athénách. Tato letiště dosahují hodnot  $z\text{-skór}^{16}$  přibližně 2 a více. Touto mezní hodnotou se vyznačují významné letecké uzly pro danou komunitu. Z hlediska *participačního koeficientu*<sup>17</sup> jsou letiště Frankfurt a Mnichov významné v rámci celé evropské sítě ( $P_i > 0,75$ ), mají tak lety rozložené rovnoměrně do všech ostatních komunit. Athénské letiště lze klasifikovat jako spojovací ( $0,3 < P_i \leq 0,75$ ), které má významný podíl do některých komunit, v dalších je jeho zapojení slabší. Spojení těchto dvou regionů je zřejmě dáno absencí evropsky i světově významného letiště, které by sloužilo jako uzlové letiště. Jediné takové letiště je pouze v Athénách, které má svůj význam pro řeckou podkomunitu<sup>18</sup>. Zbylá balkánská letiště nemají vlastní uzlové letiště a z toho důvodu jejich lety směřují do jiných center, ve většině případů na německá letiště. Jedinou exklávou, nacházející se v geografickém jádru jiné komunity je italská Florencie.

Jádrem druhé největší komunity tvoří letiště Velké Británie a Irska, ke kterým se přidávají další významná letiště v Amsterdamu a Bruselu. Součástí je velký počet letišť mimo tento region v přímořských destinacích např. Murcia (MJV), Zakynthos (ZTH) či Burgas (BOJ). Dále jsou to také sekundární letiště některých větších měst – Ciampino v Římě (CIA), Tegel v Berlíně (TXL) Modlin ve Varšavě (WMI). Nejdominantnějším letištem ( $z\text{-skór} \geq 2$ ) v této komunitě je Schiphol v Amsterdamu ( $z_i - 3,1$ ), které je následováno Dublinem ( $z_i 2,7$ ). První jmenovaný zároveň dobře propojený i se všemi ostatními komunitami, druhý naopak figuruje jako spojovací letiště pro určité komunity. Již zmíněné letiště Murcia na pobřeží Španělska vykazuje silnou přitažlivost ke své vlastní komunitě ( $P_i - 0,11$ ).

Třetí komunita se skládá z velké většiny letišť lokalizovaných v Itálii. Jejím jediným významným uzlem je letiště Fiumicino v Římě ( $z_i - 3,7$ ), které stejně jako většina komunitně významných uzlů má vztahy rovnoměrně rozložené do všech komunit. Součástí komunity je i letiště Beauvais (BVA) v blízkosti Paříže, které se vyznačuje absencí letů v rámci Francie.

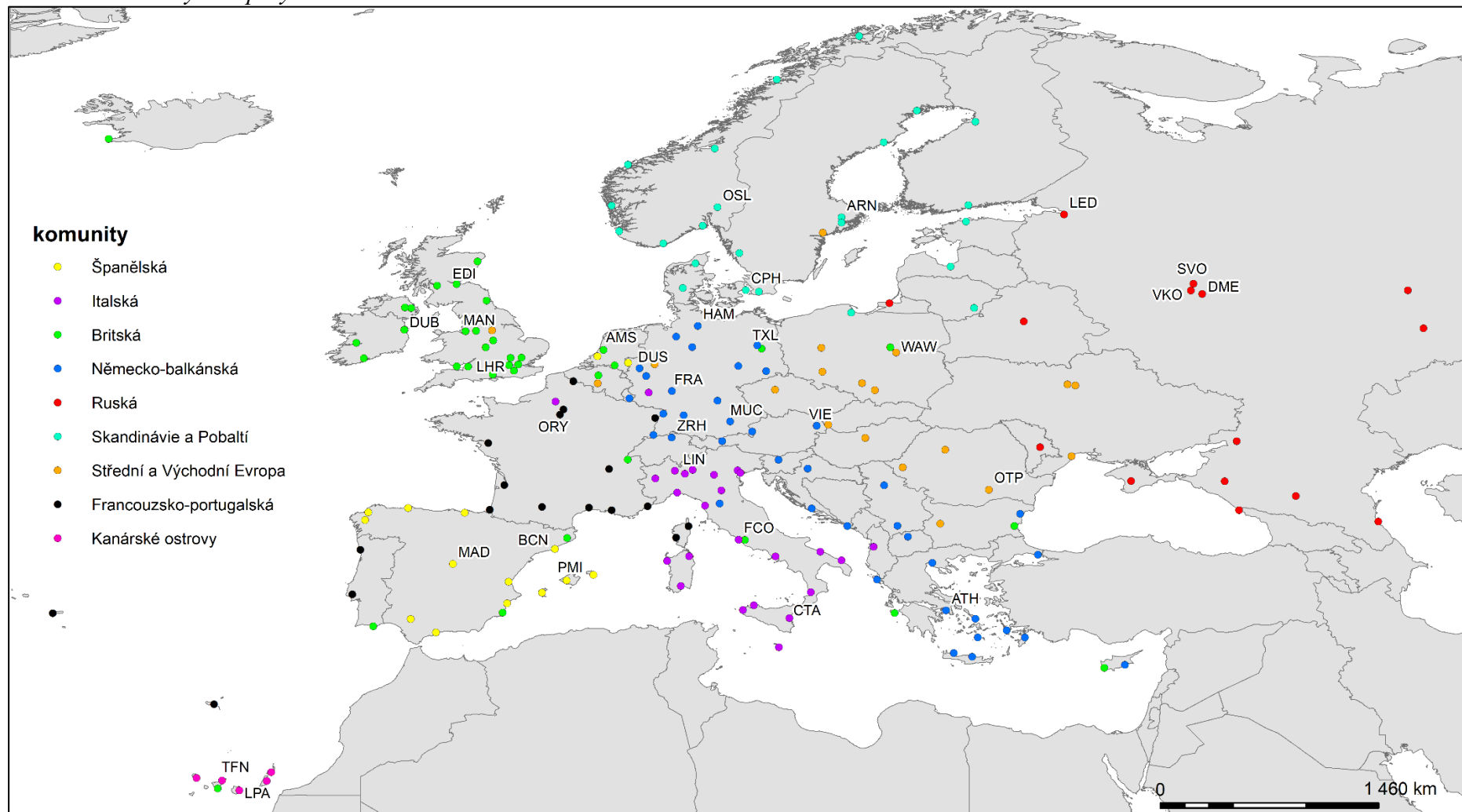
---

<sup>16</sup> Měří, jak silně je letiště zapojené v rámci své komunity.

<sup>17</sup> Udává, jak je letiště zapojeno do všech komunit. Hodnoty blízké 1 značí rovnoměrné zapojení, hodnoty blízké 0 ukazují zapojení spíše ke svojí komunitě.

<sup>18</sup> Při rozdělení sítě na 10 komunit vznikne řecká komunita, ale sníží se celková hodnota modularity sítě.

Obr. 10: Komunity evropských letišť



Zdroj: Gephi (2018), vlastní výpočty

Čtvrtou komunitu tvoří letiště ve skandinávských a pobaltských zemích. Výjimkou je zde pouze letiště Skvasta (NYO), které je jedním ze tří stockholmských letišť. Tato komunita nemá také žádné své exklávy. Nejvýznamnější letiště jsou pak v Oslu ( $z_i - 3,1$ ) se spojovací funkcí pro některé regiony a v Kodani ( $z_i - 2,1$ ) se zapojením v celé síti.

Nejméně kompaktní komunitu tvoří státy střední a východní Evropy. Vztahy uvnitř komunity jsou sice silnější, ale jsou na hraně soudržnosti k sousedním komunitám. Konkrétně se jedná o významnou dělící linii mezi Českem, Slovenskem, Maďarskem a Rumunskem na jedné straně a Polskem a Ukrajinou na straně druhé. První skupina tíhne k Německo-balkánské komunitě, druhá pak zase ke Skandinávským a Pobaltským státům. Rozdíl mezi oběma skupinami je také v absenci komunitního lídra v první skupině. Ve druhé skupině je vedoucím letištěm Varšava ( $z_i - 3,4$ ). Podpurným faktem pro rozštěpenost této komunity jsou i hodnoty participačního koeficientu, které pouze v jednom případě nepřesahují hodnotu 0,8 (letiště Oděsa – ODS).

Další národní komunitou je francouzsko-portugalská, která zahrnuje letiště těchto dvou států. V této komunitě figuruje jako enkláva italské komunity již zmíněné letiště Beauvais a také portské letiště náležící ke komunitě Anglie a Irska. Z pohledu významnosti vyniká pouze letiště Orly v Paříži ( $z_i - 2,9$ ) se spojovací funkcí dle participačního koeficientu (0,66). Už při charakteristice jednotlivých letišť jsme zjistili, že toto letiště propojuje především frankofonní území po celém světě. I zde se nám tak potvrzuje jeho role zprostředkovatele ostatních francouzských letišť k těmto územím. Naopak na komunitní úrovni je druhé pařížské letiště (CDG) významné jen minimálně. I toto nám potvrzuje specializaci jednotlivých letišť širšího zázemí měst.

Ruská národní komunita se na rozdíl od komunity střední a východní Evropy vyznačuje nejvyšší kompaktností. K jejímu připojení k ostatním komunitám by došlo až v posledním kroku. Participační koeficient jednotlivých letišť nepřekračuje hodnotu 0,6. Výjimku tvoří letiště Šeremetevo, dále pak Minsk a Kišinev, které ale nejsou součástí Ruské federace. Jako jedinou exklávou této komunity lze označit letiště Kalinigrad, které je ovšem i územní exklávou Ruska. Významnost zde samozřejmě ukazuje moskevské letiště Šeremetevo, které již z dřívějších analýz vyplynulo jako hlavní konektivní uzel pro Rusko s ostatními evropskými letišti.

Španělská komunita do sebe zahrnuje kromě španělských letišť ještě letiště Rotterdam a dále Weeze na hranicích Německa a Nizozemska. Jediným významným letištěm

je v této komunitě Barajas v Madridu ( $z_i = 2,2$ ). Významně se nám tak potvrzuje role letiště El Prat v Barceloně jako primárního evropského uzlu, jehož evropský význam není skrytý pouze v propojení španělských letišť.

Poslední a nejmenší komunitu tvoří pět letišť na Kanárských ostrovech. Důvod pro nepřipojení ke Španělské komunitě a vytvoření vlastní komunity je dán silou vztahů, který je zde vyjádřen počtem letů za týden. Mezi každým párem letišť přeletí za týden více než 200 osobních letadel. Je ovšem jasné, že na takto krátké vzdálenosti jsou využívány především menší letadla, a proto je tato komunita do jisté míry zkreslena.

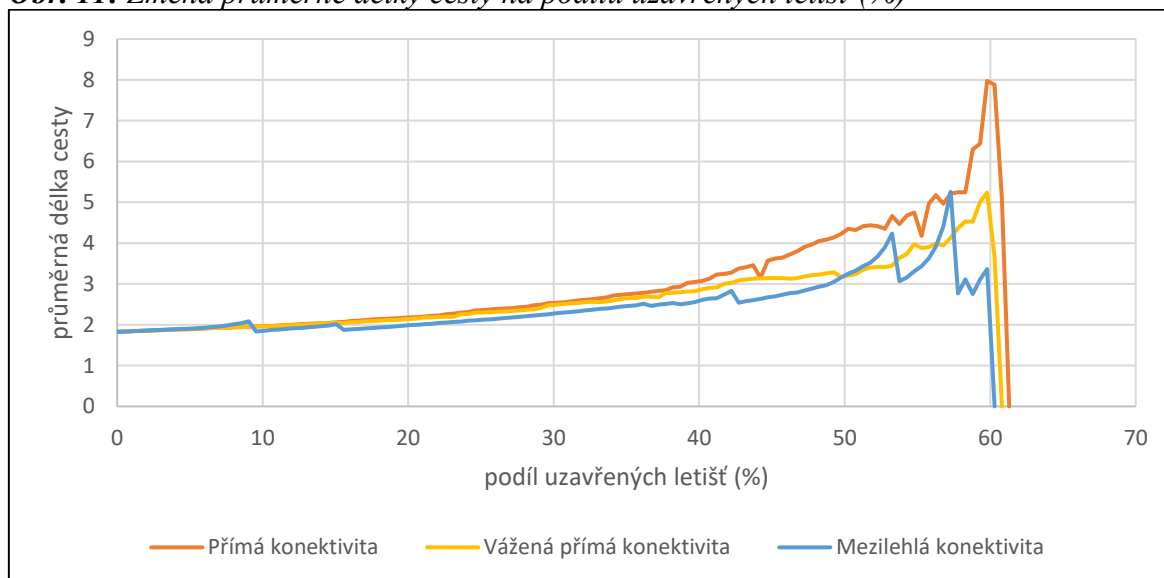
Celkově je mezi evropskými letišti pouze 6 ultraperiferních letišť ( $P_i \geq 0,05$ ), která jsou ovšem specificky lokalizovaná. Jedná se o 3 ruská a 3 skandinávská letiště, která jsou napojena pouze na letiště ve své komunitě. Dalších 63 letišť lze označit za periferní ( $0,05 < P_i \leq 0,62$ ), u kterých je většina vztahů realizovány v rámci své vlastní komunity. To představuje 35% podíl letišť málo zapojených do celkové struktury evropské letecké sítě. Na druhé straně stojí 102 letišť (51 % souboru), které mají své vztahy v rámci celé sítě rovnoměrně rozložené. Zbylých 28 letišť (14 %) je pak zapojeno i do jiné než své komunity.

## 7. ODOLNOST EVROPSKÉ LETECKÉ SÍTĚ

### 7.1. Robustnost sítě

V této kapitole je analyzována robustnost evropské letecké sítě vůči negativním vlivům. Robustnost můžeme chápat jako část odolnosti sítě, kdy síť funguje (resp. nefunguje) jako jeden relativně kompaktní celek. Robustnost je analyzována na základě vyhodnocení tří charakteristik z předchozích kapitol. Jedná se o přímou konektivitu, váženou přímou konektivitu a mezilehlou konektivitu. Vzhledem k výrazné korelaci přímé konektivity a linkové konektivity, byla využita pouze první jmenovaná charakteristika. Letiště jsou postupně uzavírána (odstraněna) podle jejich významnosti v dané charakteristice, která se ovšem s každým uzavřeným letištěm mění, tím, že jsou všechny hodnoty znovu přepočítány. Tím došlo v některých případech k výraznému posunu významnosti, ať už k poklesu nebo nárůstu. K výpočtům dochází až do momentu rozpadu sítě. K rozpadu sítě dochází v momentu, kdy nelze určit tzv. velkou komponentu. Jako velká komponenta je určena část sítě s největším počtem napojených uzlů. Sledována je změna čtyř ukazatelů: průměrná délka cesty, velikost velké komponenty (počet napojených letišť), počet existujících přímých vztahů a počet existujících přímých letů.

**Obr. 11:** Změna průměrné délky cesty na podílu uzavřených letišť (%)

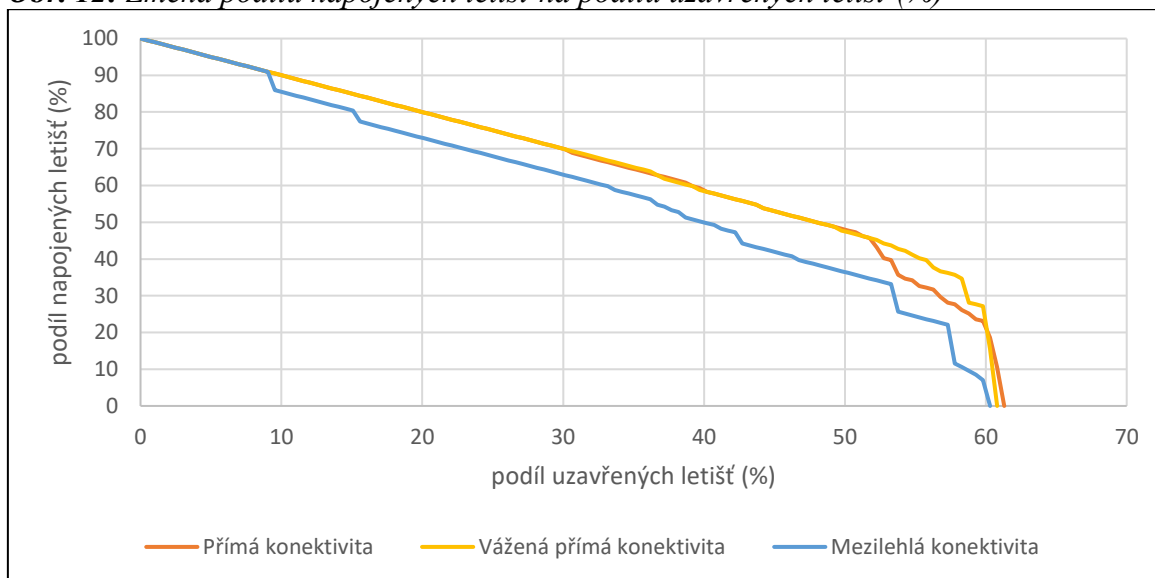


Zdroj: Flightconnections 2018, vlastní výpočty

Na Obr. 11 je znázorněna změna průměrné délky cesty sítě při postupném uzavírání letišť dle různých charakteristik. U změny průměrné délky cesty, můžeme pozorovat postupný nárůst vzdálenosti mezi letišti, která je vyjádřena minimálním počtem letů, a to u všech tří charakteristik. Nejvyšší hodnota následovaná prudkým poklesem značí úplný

rozpad kompaktnosti sítě. U všech tří charakteristik toto můžeme pozorovat zhruba při odstranění 60 % letišť. Náhlé menší poklesy průměrné délky cesty značí odstranění 2 a více letišť ze sítě při uzavření jednoho letiště, tzn. tato letiště přestávají být napojená na jádro evropské letecké sítě. Tato letiště jsou v tomto okamžiku nejhůře dostupná a jejich odstraněním se zlepší průměrná dostupnost ostatních letišť. Při uzavírání letišť podle (vážené) přímé konektivity vidíme víceméně konstantní růst až do doby rozpadu sítě. Uzavíráním letišť podle přímé konektivity dochází k nejvyššímu nárůstu průměrné délky cesty, a to až na hodnotu 7,9, tedy mezi letišti je nutné absolvovat v průměru 8 letů čili 7 přestupů. Pozvolnější růst pak můžeme sledovat u vážené přímé konektivity (max. 5,2). Tento rozdíl je dán především konektivní povahou přímé konektivity a objemovou povahou vážené přímé konektivity. Uzavírání letišť dle první charakteristiky více ovlivňuje průchodnost celé sítě. Jiný trend nastává při uzavírání letišť podle mezilehlé konektivity. Zde dochází k častějšímu střídání poklesu a růstu průměrné délky cesty. Jak již bylo výše zmíněno, tyto poklesy značí odstranění většího množství letišť při uzavření pouze jednoho letiště. Jelikož tato charakteristika určuje, která letiště leží na pomezí rozdílných skupin, byl již od začátku předpokládán značný vliv na konektivitu. Přestože není dosahováno nejvyšších hodnot průměrné délky cesty, častá fluktuace právě značí největší ovlivnění funkčnosti sítě.

**Obr. 12:** Změna podílu napojených letišť na podílu uzavřených letišť (%)



Zdroj: Flightconnections 2018, vlastní výpočty

Podíváme-li se na to, jak se mění počet napojených letišť při postupném uzavírání letišť, zjistíme jak rychle a v jakém okamžiku dojde k rozbití sítě. K rozbití sítě dochází nejdříve při uzavírání letišť podle mezilehlé konektivity. Velkou komponentu již nelze najít

při uzavření přibližně 59,8 % sítě (119 letišť). Podle vážené přímé konektivity je to 60,3 % (120) a podle přímé konektivity je to 61,3 % (122). U všech charakteristik tak dochází k rozpadu sítě v relativně stejný okamžik. Mezi charakteristikami se naopak liší rychlost rozpadu sítě. Nejrychleji se rozpadá síť podle mezilehlé konektivity. Jak již bylo řečeno výše, je to dáno odstraněním většího počtu letišť při uzavření jednoho letiště. V praxi to například znamená 85% funkčnost sítě při uzavření 9,5 % letišť. Na Obr. 12 jsou tato odstraněná letiště znázorněna tzv. schody. U zbylých dvou charakteristik vidíme lineární pokles až přibližně do uzavření 50 % letišť, tedy v síti nejsou napojeny pouze uzavřená letiště. I zde je vidět rozdíl mezi přímou a váženou přímou konektivitou, kdy se zrychluje rozpad sítě po uzavření 50 % letišť.

Mezi charakteristikami jsou i rozdíly ve vzorku odstraněných letišť. U mezilehlé konektivity obecně dochází k postupnému odpojování větších celků, které se podobají komunitám z předchozí kapitoly. U (vážené) přímé konektivity jsou to pak spíše jednotlivá letiště, ale i ke konci se jedná o větší propojené celky. Rozdíly lze najít i ve změně významu jednotlivých letišť v rámci charakteristik. Nejčastěji změny v postavení letišť probíhaly u mezilehlé konektivity. To demonstruje příklad pařížského letiště (CDG), které je 10. nejvýznamnější podle mezilehlé konektivity, ale uzavřeno by bylo až jako 33. letiště. U přímých konektivit pořadí uzavření letišť více odpovídá postavení podle významu.

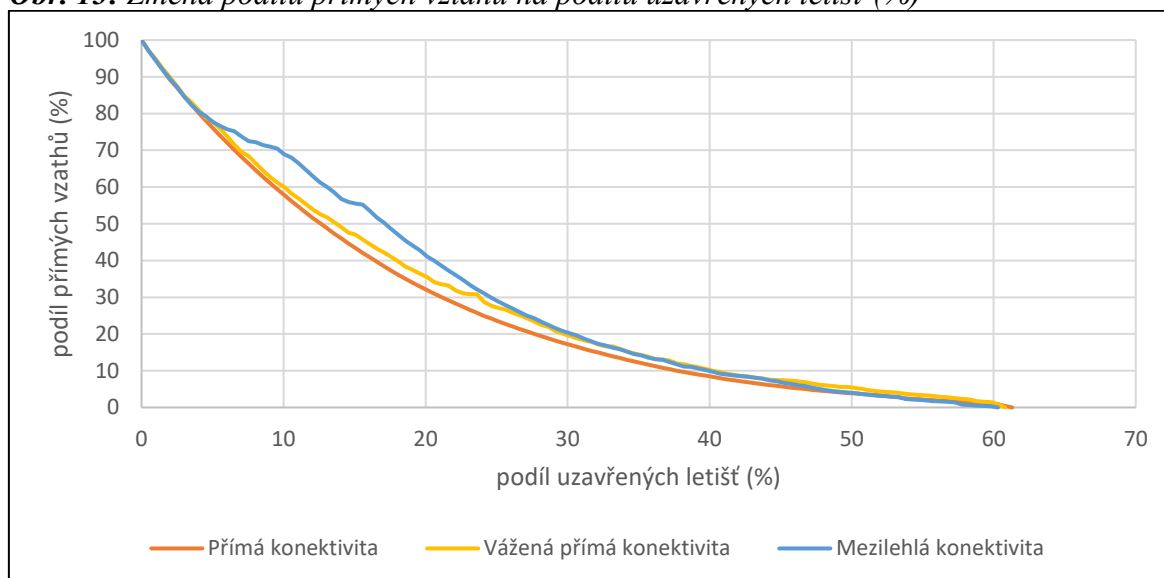
Podíl počtu vztahů na podílu uzavřených letišť jsou vyobrazeny na Obr. 13 Obr. 14. Na prvním obrázku vidíme vztahy vyjádřené pouhou existencí přímého spojení. V případě (vážené) přímé konektivity můžeme vidět, že již při uzavření 10 % letišť je odstraněno přibližně 40 % vztahů. U mezilehlé konektivity je snižování počtu vztahů pomalejší (cca 30 %). Přesto však u všech tří charakteristik dochází k postupné konvergenci a při uzavření 50 % letišť lze v síti identifikovat pouze 4 % přímých vztahů. Celkově rychlé snižování počtu přímých spojení je důsledkem uzavírání nejvýznamnějších, která mají také nejvíce přímých spojení.

Podobný trend je možné pozorovat i na změně počtu přímých letů, tedy vážený vztah. Zde je pokles celkového počtu letů o něco pomalejší u všech tří charakteristik. To může být dáno menší koncentrací letů do nejvýznamnějších letišť v porovnání s koncentrací obsluhovaných destinací. Zajímavý je také fakt, že uzavíráním letišť podle mezilehlé konektivity, po uzavření 40 % letišť dochází k nejrychlejšímu poklesu počtu přímých letů.



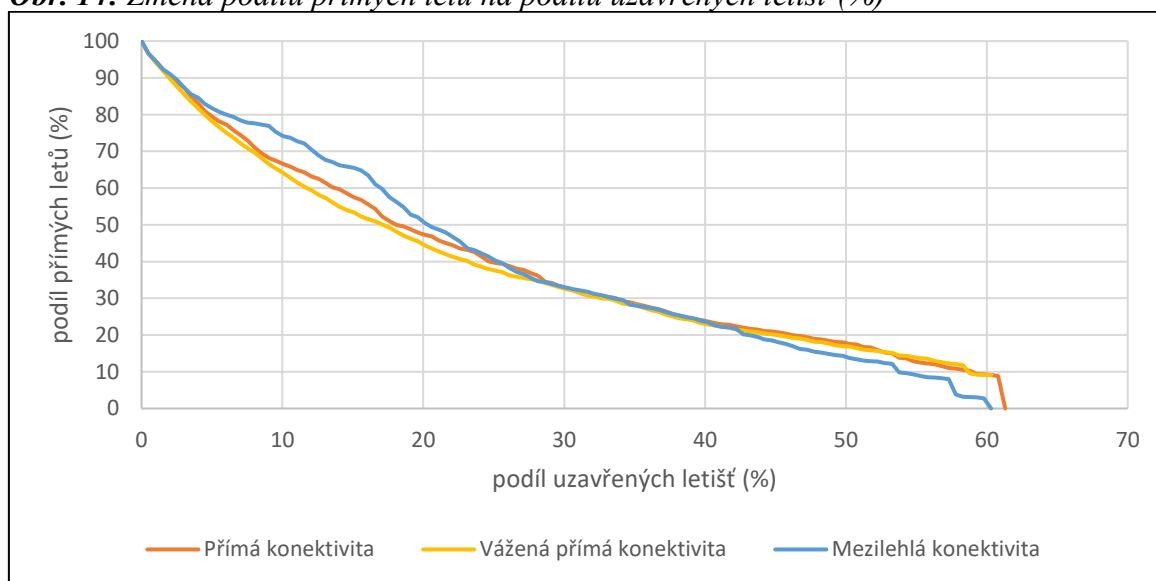
Vysvětlením je prostý fakt, že některá objemově velká letiště jsou odstraněna až v pozdějších krocích a také fakt, že dochází k odpojování větších celků.

**Obr. 13:** Změna podílu přímých vztahů na podílu uzavřených letišť (%)



Zdroj: Flightconnections 2018, vlastní výpočty

**Obr. 14:** Změna podílu přímých letů na podílu uzavřených letišť (%)



Zdroj: Flightconnections 2018, vlastní výpočty

U všech charakteristik můžeme sledovat ovlivnění sítě podle jejich zaměření. Vybíráním letišť podle přímé konektivity dochází k nejrychlejší degradaci sítě v počtu existujících přímých spojení. Počet letů, alespoň zpočátku, nejvíce ovlivňuje uzavírání letišť s největším objemem přímých letů (vážená přímá konektivita). Mezilehlá konektivita pak nejvíce ovlivňuje síť z hlediska celkového napojení letišť a také pohybu v síti.

Na základě zjištěných výsledků můžeme konstatovat, že maximální hranicí robustnosti této sítě je uzavření 60 % letišť. Za touto hodnotou již síť nefunguje jako jeden větší kompaktní celek a rozpadne se do více malých nepropojených částí. Při vyhodnocení však také záleží, jak je stanovena hranice normální funkčnosti sítě. Z analýzy vyplývá, že síť při 50 % uzavřených letišť funguje jako jeden kompaktnější celek, ale nabízí pouze cca 4 % přímých spojení a cca 15 % přímých letů. Z tohoto pohledu není síť příliš efektivní. Je-li stanovena minimální efektivita sítě na 50 % uvedených ukazatelů (počet spojení a letů), zjistíme, že robustnost sítě je 13,6 % (v případě zachování přímých vztahů) a 17,1 % (v případě zachování přímých letů) uzavřených letišť.

## **7.2. Resilience sítě**

Součástí odolnosti sítě je kromě robustnosti i resilience, což je vlastnost sítě adaptovat se při vyskytnutí negativních vlivů, a tím zachovat svojí stávající funkčnost. V této práci je resilience analyzována na základě absorpční kapacity, kterou představuje maximální volná kapacita letišť. Cílem je zjistit, jestli je v okolí nejvýznamnějších leteckých uzlů dostatečná volná kapacita, k pojmoutí veškerých letů (evropských i mimoevropských). Nejdříve je tak zkoumán práh, resp. vzdálenost, kdy je možné pojmovou všechny lety nejvýznamnějších leteckých uzlů, a to jednotlivě. Analýza se poté zaměřuje na situaci, kdy je potřeba využít absorpční kapacitu pro všechna vybraná nejvýznamnější letiště zároveň. První případ je mnohem reálnější a je možné ho pozorovat např. při stávce zaměstnanců, lokálních omezení z důvodu záplav nebo lokálních bouří. Druhý případ je méně reálná a odpovídá cílenému útoku na nejvýznamnější letiště.

Absorpční kapacita je zde počítána jako maximální vytížení runwayí, a to dvěma způsoby. Za prvé pro letiště, která nabízejí sloty, je počítáno s informací o celkovém počtu slotů a předpokládá se, že nabídka slotů v sobě již zahrnuje informaci o maximálním vytížení runwayí i z pohledu konkrétních typů letadel. Za druhé jsou to letiště, která sloty nenabízejí a počítá se tak s maximálním vytížením runwayí uvedených samotnými letišti. Detailněji je tato část rozpracována v metodické části. Vzhledem k zaměření této analýzy na počet letů je mezi nejvýznamnější uzly zařazeno 15 letišť s největším objemem letů, tedy podle vážené přímé konektivity za týden. Při analýze absorpční kapacity je důležité využít všech letů, jedná se tak o součet vzletů a přistání, tedy dvojnásobná vážená přímá konektivita. Přehled o 15 nejvýznamnějších letištích podává Tab. 16.

**Tab. 16:** Přehled 15 nejvýznamnějších letišť dle vážení přímé konektivity a jejich práh absorpční kapacity

| Pořadí | IATA kód | Počet letů za týden | Práh absorpční kapacity |
|--------|----------|---------------------|-------------------------|
| 1.     | AMS      | 8 290               | 200 km                  |
| 2.     | LHR      | 7 424               | 100 km                  |
| 3.     | CDG      | 7 330               | 300 km                  |
| 4.     | FRA      | 6 404               | 200 km                  |
| 5.     | MAD      | 5 646               | 400 km                  |
| 6.     | SVO      | 5 206               | 100 km                  |
| 7.     | MUC      | 5 110               | 200 km                  |
| 8.     | FCO      | 4 654               | 300 km                  |
| 9.     | BCN      | 4 528               | 200 km                  |
| 10.    | LGW      | 4 364               | 100 km                  |
| 11.    | ZRH      | 3 802               | 200 km                  |
| 12.    | BRU      | 3 648               | 200 km                  |
| 13.    | DUB      | 3 602               | 200 km                  |
| 14.    | CPH      | 3 544               | 100 km                  |
| 15.    | VIE      | 3 310               | 100 km                  |

*Zdroj: Flightconnections 2018, vlastní výpočty*

Absorpční kapacita v okolí jednotlivých letišť je dána především dvěma faktory. Je to celkový objem letů samotného letiště, kdy velkých letišť je nutné naplnit větší absorpční kapacitu. Je to také počet letišť v okolí daného letiště. Celkem pět letišť má svojí absorpční kapacitu v okolí maximálně do 100 km. Jedná se o londýnská letiště Heathrow (LHR) a Gatwick (LGW), která ve svém okolí mají další tři londýnská letiště a letiště v Southampton (SOU). Dále je to moskevské letiště Šeremetevo (SVO), pro které dostatečnou absorpční kapacitu tvoří další dvě moskevská letiště. Nakonec jsou to letiště ve Vídni (VIE) a Kodani (CPH) v jejichž okolí je bratislavské letiště (BTS - abs. kap. 4 530) a letiště v Malmö (MMX - abs. kap. 6 448). Důvodem je nízké vytížení obou okolních letišť okolo 4 %.

K naplnění absorpční kapacity v maximální vzdálenosti 200 km od letiště dochází u sedmi letišť. Jsou jimi letiště Frankfurt (FRA) a Mnichov (MUC), která ve svém okolí mají dostatek letišť s volnou absorpční kapacitou. Dále je to letiště v Barceloně (BCN), Curychu (ZRH), Bruselu (BRU) a Dublinu (DUB), která těží buď z přítomnosti dalších větších letišť nebo svého menšího celkového počtu letů. Posledním letiště je amsterdamské letiště (AMS), které spadá také do limitu 200 km, ale pouze díky tomu, že velkou část letů je schopné pojmout letiště v Bruselu. V případě, že by nastala situace simultánního vyřazení obou letišť, se tato hranice posouvá až na 300 km. U bruselského letiště tato hranice zůstává stejná.

U dvou letišť dochází k naplnění absorpční kapacity maximálně do vzdálenosti 300 km. U letiště Charles de Gaulle v Paříži (CDG) není druhé pařížské letiště schopné pojmout dostatečný počet letů, protože je již vytížené na 80 %. Druhým letištěm je Fiumicino v Říme (FCO), které má ve svém okolí do 200 km další římské letiště (CIA) a neapolské letiště (NAP) s celkovou absorpční kapacitou 3 799 letů.

Jediným případem letiště, jehož absorpční kapacita je naplněna až ve vzdálenosti 400 km, je letiště v Madridu (MAD). V jeho okolí je nejbližší letiště ve Valencii (300 km) s nedostatečnou absorpční kapacitou (4 662 letů).

Všechny tyto absorpční kapacity jsou ve velké míře ovlivněny zkoumaným zimním obdobím, kdy většina letišť nevyužívá svojí celkovou kapacitu v takové míře jako v letních měsících. Vliv také má omezený výběr celé evropské letecké sítě, mohou tak být vyřazeny bližší letiště.

V případě, že by došlo k narušení provozu na všech těchto letištích najednou, je možné zachovat stejný počet letů i při ponechání maximální vzdálenosti letišť stanovených v předchozích krocích. Většina letišť si totiž nekonkuruje svojí absorpční oblastí. Jednu výjimku tvoří londýnská letiště, která ve svém okolí mají dostatečnou absorpční kapacitu při vyřazení obou letišť. Druhou výjimku tvoří oblast mezi letišti v Paříži (CDG), Bruselu (BRU), Amsterdamu (AMS) a Frankfurtu (FRA), tzv. geografický střed evropské letecké dopravy (Scaini a kol. 2014). Mezi těmito letišti se nachází značné množství společné absorpční kapacity (viz Obr. 15). Pro zachování stejného množství letů je potřeba optimalizovat přesměrování jednotlivých letů. Příkladem může být využití letiště v Lucemburku (LUX) pouze pro lety směřované původně na pařížské letiště či letiště Düsseldorf (DUS) v případě letiště v Amsterdamu. Nevýhodou této optimalizace je, že některá letiště v jejich okolí budou využívána na 100 %. Při stanovení manipulačního prostoru a využití maximálně 80 % absorpční kapacity letiště je potřeba rozšířit práh absorpční kapacity pařížského letiště na 400 km.

Z celkové pohledu se jako nejslabší článek jeví letiště Charles de Gaulle (CDG) a letiště Barajas v Madridu (MAD), které ve svém okolí nemají dostatečnou absorpční kapacitu. Ostatní letiště mají ve svém okolí dostatečnou absorpční kapacitu, a to především díky nedostatečnému vytížení v zimním období. Je však nutné si uvědomit, že práce se zabývá pouze leteckou dopravou a nebere v úvahu využití jiného dopravního prostředku např. rychlovlaky. Důkazem může být situace při výbuchu islandské sopky v roce 2010, kdy

okolo 26 % cestujících z Prahy si vybralo vlakovou dopravu místo zrušených leteckých linek (Kvizda a Seidenglanz 2014).

**Obr. 15:** Překryvy absorpčních oblastí vybraných letišť



*Zdroj: vlastní výpočty*

## 8. ZÁVĚR

Analýza evropské letecké sítě z hlediska konektivity přinesla zajímavé poznatky o významu jednotlivých leteckých uzlů v Evropě v zimním období i o celkové struktuře a vlastnostech evropské letecké sítě. V práci byl nejprve zkoumán význam jednotlivých evropských letišť pro evropskou a do jisté míry i světovou leteckou síť. Na význam letišť byla posléze navázána charakteristika a struktura celé evropské letecké sítě, a to z pohledu pohybu v rámci sítě, významové hierarchie a komunitní struktury. Nakonec tato práce přispěla ke kvantifikaci odolnosti sítě.

K identifikaci významnosti letišť byly využity čtyři charakteristiky – přímá konektivita, vážená přímá konektivita, mezilehlá konektivita a linková konektivita. Jasně nejdominantnějším letišťem z hlediska organizace letecké dopravy v rámci Evropy je letiště Schiphol v Amsterdamu. Dalšími významnými letišti jsou El Prat v Barceloně, letiště v Mnichově, v Bruselu a dvě londýnská letiště Gatwick a Stanstad. Tato letiště jsou významná ve všech sledovaných charakteristikách. Dalšími velmi významnými letišti jsou Charles de Gaulle v Paříži a Frankfurtské letiště, které jsou považovány i za globální uzly. Všechna uvedená letiště obsluhují města, která lze považovat za světová a zároveň jsou turisticky atraktivní. Jednotlivé charakteristiky pak odrážejí tyto faktory atraktivity různým způsobem. Přímá konektivita, která nám udává počet obsluhovaných destinací, v sobě odráží jak ekonomickou atraktivitu města, tak i turistickou atraktivitu města. To dokazuje přítomnost několika letišť obsluhující přímořské destinace ve Španělsku mezi nejvýznamnějšími letišti. Vážená přímá konektivita (objem letů) na druhou stranu odráží mnohem více význam z hlediska globálního propojení světových měst. Tato letiště často slouží jako přestupní uzly pro transkontinentální lety. V rámci nejvýznamnějších letišť podle mezilehlé konektivity, jejíž hlavní devízou je poukázat na potenciál přestupu v letištích, dochází k nárůstu významu u letiště Václava Havla v Praze, moskevských letišť Šeremetevo a Domodědovo a také u skandinávských letišť u Helsinek, Osla a Stockholmu. Nárůst významu je spojen hlavně s obsluhováním málo frekventovaných destinací. Význam letišť dle linkové konektivity, jež nám udává vzdálenost v síti od všech letišť, odpovídá přímé konektivitě z důvodu malé velikosti sítě, resp. snadné dostupnosti letišť. Většina nejvýznamnějších leteckých uzlů také funguje jako „hub“ alespoň pro jednu leteckou společnost.

Z hlediska transkontinentálních letů, jsou nejvýznamnějšími letišti Heathrow v Londýně a také letiště Atatürk v Istanbulu. Obě letiště dosahují značného objemu letů na globální úrovni, a naopak ztrácejí v konektivitě v evropské letecké síti. Rozdíly jsou také v obsluze světových makroregionů. Nejvíce letů z Evropy směřuje na Blízký Východ s dominantním postavením istanbulského letiště. Následuje Asie a moskevská letiště jako dominantní tranzitní uzly, a to hlavně díky obsluze asijské části Ruska a států bývalého Sovětského svazu. Dále je to Severní Amerika nejčastěji dostupná z letiště Heathrow v Londýně, Afrika přes letiště Charles de Gaulle v Paříži a Latinská Amerika nejlépe napojená na letiště Barajas v Madridu. Díky vzdálenostním bariérám je Austrálie napojena pouze na londýnské letiště. U všech těchto nejsilnějších vazeb jsou znát kulturní a historické spjatosti.

Pomocí tzv. topologických charakteristik byly analyzovány vlastnosti sítě jako celku. Na základě velikostního rozložení přímé konektivity nelze síť označit jako „scale-free“, tedy bez výrazné hierarchické struktury. Důvodem je zřejmě nasycenost trhu s nabídkou destinací a omezení velikosti sítě pouze na evropské lety a letiště určité velikosti (nad 1 mil. cestujících za rok). Dalším důvodem je méně výrazná adopce systému „hub-and-spoke“ pro evropské lety, který naopak stojí za výraznou hierarchickou strukturou podle velikostního rozložení vážené přímé konektivity a lze jí z tohoto pohledu označit za síť typu „scale-free“. Podle dalších topologických charakteristik (průměrná délka cesty a shlukovací koeficient) je evropská letecká síť dobře průchodná a je možné s v ní pohybovat s malým počtem přestupů, přestože většina letišť nemá mezi sebou přímé spojení. Jedná se tak o síť typu „small-world“.

Vysoké hodnoty shlukovacího koeficientu poukazují na přítomnost komunit. Pomocí tzv. modularity sítě byly zjištěny příslušnosti k jednotlivým komunitám. Těch lze najít, při zachování nejvyšší kompaktnosti sítě, celkem 9. Nejpočetnější komunitu tvoří 39 letišť z Německo-balkánské komunity, nejmenší zase komunita Kanárské ostrovy s pěti letišti. Nejvíce kompaktní komunitu tvoří ruská letiště v kombinaci s letištem v Minsku a Kišiněvu. Komunita letišť Střední a Východní Evropy je nejméně kompaktní a dochází v ní k rozpadu na dvě podskupiny. První tíhne spíše k Německo-balkánské komunitě, druhá zase ke komunitě letišť ze Skandinávie a Pobaltí. Do zbylých čtyř komunit patří Španělská, Italská, Britská a Francouzsko-portugalská letiště.

K analýze odolnosti evropské letecké sítě bylo přistupováno dvěma směry. První z nich je robustnost sítě, což je určitá hranice, kdy síť relativně funguje nebo nefunguje jako jeden celek. Z analýzy vyplývá, že maximální hranicí robustnosti sítě je uzavření 60 % letišť. Za touto hodnotou již síť nefunguje jako jeden větší kompaktní celek a rozpadne se do více malých nepropojených částí. Avšak i při uzavření 50 % letišť zůstává v síti pouze 4 % původních přímých spojení a 15 % původních přímých letů. V praxi je tak dobré si stanovit limit minimální funkčnosti vyjádřený podílem zachovaných spojení či letů. Pokud chceme v evropské letecké síti zachovat alespoň 50 % letů, je maximální hranicí robustnosti uzavření 20 % nejvýznamnějších letišť.

Druhým směrem analýzy odolnosti sítě je resilience. Jedná se o vlastnost sítě adaptovat se negativní vlivy a zachovat svojí stávající funkčnost. Ta byla sledována pomocí maximálního prahu absorpční kapacity letů v okolí nejvýznamnějších letišť. Mezi nejohroženější letiště patří Charles de Gaulle v Paříži a Barajas v Madridu, jejichž maximální prah absorpční kapacity se nachází až ve vzdálenosti 400 km od daného letiště. Další slabinou evropské letecké sítě je oblast mezi letišti v Paříži, Bruselu, Amsterdamu a Frankfurtu, kde se nachází tzv. geografický střed evropské letecké dopravy. Mezi těmito letišti se nachází značné množství společné absorpční kapacity.

Všechny tyto výsledky nám ukazují, ve kterých letištních uzlech proudí největší množství informací a jak jsou tyto uzly kritické pro fungování celé evropské letecké sítě. Zjistili jsme také jaká je průchodnost a celková odolnost sítě. Tyto poznatky je možné využít např. uzavíráním nejkritičtějších leteckých uzlů pro zpomalení šíření infekcí. Poznatky je také možné využít pro adaptační politiku při krizových situacích či jako preventivní opatření proti narušení. Další výzkum by se zcela jistě měl ponořit do podrobnějšího zkoumání, a to až na úrovni jednotlivých hodin. Větší pozornost by také měla být věnována vztahům evropských letišť v kontextu celosvětové letecké sítě.



## 9. ZDROJE

### 9.1. Literární zdroje

ADIKARIWATTAGE, V., DE BARROS, A. G., WIRASINGHE, S. C., RUWANPURA, J. (2012): Airport classification criteria based on passenger characteristics and terminal size. *Journal of Air Transport Management*, č. 24, s. 36-41.

ALBERT, R., JEONG, H., BARABÁSI, A. (2000): Error and attack tolerance of complex networks. *Nature*, č. 406, s. 378-382.

BAGLER, R. (2008): Analysis of the airport network of India as a complex weighted network. *Physica A*, 387, s. 2972-2980.

BANKES, S. (2010): Robustness, Adaptivity, and Resiliency Analysis. *Complex Adaptive Systems —Resilience, Robustness, and Evolvability: Papers from the AAAI Fall Symposium*, 7 s.

BARABÁSI, A., ALBERT, R. (1999): Emergence of scaling in random networks. *Science*, č. 286, s. 509-512.

BARRETT, S. D. (2004): How do the demands for airport services differ between full-service carriers and low-cost carriers? *Journal of Air Transport Management*. 10, č. 1, s. 33-39.

BERECHMAN, J., DE WIT, J. (1996): An analysis of the effects of the European aviation deregulation on an airline's network structure and choice of a primary West European hub airport. *Journal of Transport Economics and Policy*, 30, č. 3, s. 251-268.

BOOTSMA, P. D. (1997): Airline Flight Schedule Development; Analysis and Design Tools for European Hinterland Hubs. Doctoral Thesis. Universiteit Twente.

BURGHOUWT, G., HAKFOORT, J. (2001): The Evolution of the European aviation network, 1990–1998. *Journal of Air Transport Management*, č. 7, s. 311-318.

BURGHOUWT, G. (2007): Airline Network Development in Europe and Its Implications for Airport Planning. Ashgate Publishing Ltd., Hampshire, 287 s.

BURGHOUWT, G., REDONDI, R. (2013): Connectivity in Air Transport Networks: An Assessment of Models and Applications. *Journal of Transport Economics and Policy*, č. 47, s. 35-53.

BURGHOUWT, G. (2014): Long-haul specialization patterns in European multihub airline networks - An exploratory analysis. *Journal of Air Transport Management*, č. 34, s. 30-41.

CATTANEO, M., MALIGHETTI, P., PALEARI, S., REDONDI, R. (2017): Evolution of the European network and implications for selfconnection. *Journal of Air Transport Management*, č. 65, s. 18-28.

DENNIS, N. (1994): Airline hub operations in Europe. *Journal of Transport Geography*, 2, č. 4, s. 219-233.

DOBRUZSKES, F., LENNERT, M., VAN HAMME, GILLES. (2011): An analysis of the determinants of air traffic volume for European metropolitan areas. *Journal of Transport Geography*, č. 19, s. 755-762.

DOBRUZSKES, F. (2013): The geography of European low-cost airline networks: a contemporary analysis. *Journal of Transport Geography*, č. 28, s. 75-88.

DOBRUZSKES, F., GIVONI, M., VOWLES, T. (2017): Hello major airports, goodbye regional airports? Recent changes in European and US low-cost airline airport choice. *Journal of Air Transport Management*, č. 59, s. 50-62.

DOGANIS, R. (2010): *Flying off course: the Economics of International Airlines*. 4. vydání, Routledge, London, 336 s.

DUNN, S., WILKINSON, S. M. (2016): Increasing the resilience of air traffic networks using a network graph theory approach. *Transportation Research Part E*, č. 90, s. 39-50.

ERDÖS, P., RÉNYI, A. (1959): On random graphs. *Publicationes Mathematicae*, č. 6, s. 290-297.

FREEMAN, L. C. (1979): Centrality in social networks: conceptual clarification. *Social networks*, 1, č. 3, s. 215-239.

FRIEDMANN, J. (1986): The world city hypothesis. *Development and Change*, 17, s. 69-83.

- GUIMERÁ, R., AMARAL, L. A. N. (2005): Cartography of complex networks: modules and universal roles. *Journal of Statistical Mechanics: Theory and Experiment*, s. 1-17.
- GUIMERÁ, R., MOSSA, S., TURZSCHI, A., AMARAL, L. A. N. (2005): The worldwide air transportation network: Anomalous centrality, community structure, and cities' global roles. *PANS*, 102, č. 22, s. 7794-7799.
- GUIMERÁ, R., SALES-PARDO, M., AMARAL, L. A. N. (2007): Classes of complex networks defined by role-to-role connectivity profiles. *Nature Physics*, č. 3, s. 63-69.
- GUIDA, M., MARIA, F. (2007): Topology of the Italian airport network: A scale-free small-world network with a fractal structure? *Chaos, Solitons and Fractals*, č. 31, s. 527-536.
- GUIDA, M. et. al. (2008): Topological Properties of the Italian Airport Network studied via Multiple Addendials and Graph Theory. *International Journal of Mathematical Models and Methods in Applied Sciences*, 2, č. 2, s. 312-316.
- HALL, P. (1966): *The World Cities*. Heinemann, London, 256 s.
- HOSSAIN, M., ALAM, S., REES, T., ABBASS, H. (2013): Australian Airport Network Robustness Analysis: A Complex Network Approach. *Australian Transport Research Forum 2013*, Brisbane, Australia, s 1-21.
- HOYLE, B., KNOWLES, R. D. (1998): *Modern Transport Geography*. 2. vydání, John Wiley & Sons, Michigan, 382 s.
- HYMER, S. (1972): The multinational corporation and the law of uneven development. In: Bhagwati, J (ed.): *Economics and World order from the 1970s to the 1990s*. Collier-MacMillan, New York, s. 113-140.
- KOZAK, M., RIMMINGTON, M. (2000): Tourist Satisfaction with Mallorca, Spain as and Off-Season Holiday Destination. *Journal of Travel Research*, 38, č. 3, s. 260-269.
- KVIZDA, M., SEIDENGLANZ, D. (2014): Out of Prague: a week-long intermodal shift from air to rail transport after Iceland's Eyjafjallajökull erupted in 2010. *Journal of Transport Geography*, č. 37, s. 102-111.
- LIU, Z. J., DEBBAGE, K., BLACKBURN, B. (2006): Location determinants of major US air passenger markets by metropolitan area. *Journal of Air Transport Management*, č. 12, s. 331-341.

MALIGHETTI, P., PALEARI, S., REDONDI, R. (2008): Connectivity of the European airport network: „Self-help hubbing“ and business implications. *Journal of Air Transport Management*, č. 14, s. 53-65.

MALIGHETTI, P., PALEARI, S., REDONDI, R. (2009): Airport classification and functionality within the European network. *Problems and Perspectives in Management*, č. 7, s. 183-196.

MAZZOCCHI, M., HANSSTEIN, F., RAGONA, M. (2010): The 2010 Volcanic Ash Cloud and its Financial Impact on the european Airline Industry. *CESifo Forum*, č. 11, s. 92-100.

NEWMAN, M. E. J., GIRVAN, M. (2002): Community structure in social and biological networks. *PNAS*, 99, č. 12, s. 7821-7826.

NEWMAN, M. E. J., GIRVAN, M. (2004): Finding and evaluating community structure in networks. *Physical Review E*, 69, č. 2, s. 1-16.

NEWMAN, M. E. J., BARABÁSI, A., WATTS, D. (2006): *The Structure and Dynamics of Networks*. Princeton University Press, Princeton, 582 s.

NIJKAMP, P. (1996): Liberalization of air transport in Europe: the survival of the fittest? Research memorandum 1996-11, Vrije Universiteit, Amsterdam.

REYNOLDS-FEIGHAN, A. (2001): Traffic distribution in low-cost and full-service carrier networks in the US air transportation market. *Journal of Air Transport Management*. 7, č. 5, s. 265-275.

RODRIGUE, J-P., COMTOIS, C., SLACK, B. (2017): *The Geography of Transport Systems*. 4. vydání, Routledge, London, 440 s.

RODRÍGUE-DENÍZ, H., SUAU-SANCHEZ, P., VOLTRES-DORTA, A. (2013): Classifying airports according to their hub dimensions: an application to the US domestic network. *Journal of Transport Geography*, č. 33, s. 188-195.

SASSEN, S. (1991): *The Global City*. Princeton University Press, Princeton, 480 s.

SCAINI, C. a kol. (2014): A multi-scale risk assessment for tephra fallout and airborne concentration from multiple Icelandic volcanoes – Part 2: Vulnerability and impact. *Natural Hazards Earth System Sciences*, č. 14, s. 2289-2312.

SUAU-SANCHEZ, P., BURGHOUWT, G. (2012): Connectivity levels and the competitive position of Spanish airports and Iberia's network rationalization strategy, 2001-2007. *Journal of Air Transport Management*, č. 18, s. 47-53.

SUAU-SANCHEZ, P., VOLTRES-DORTA, A., RODRÍGUE-DÉNIZ, H. (2016): The role of London airports in providing connectivity for the UK: regional dependence on foreign hubs. *Journal of Transport Geography*, č. 50, s. 94-104.

TAYLOR, P.J., BEAVERSTOCK, J.V., SMITH, R.G. (1999): A roster of world cities. *Cities*, 16, č. 6, s. 445-458.

VALLS, J-F., SUREDA, J., VALLS-TUÑON, G. (2014): Attractiveness Analysis of European Tourist Cities. *Journal of Travel & Tourism Marketing*, 31, s. 178-194.

VAN DER ARK, L.J. (2006): Attractiveness of cultural activities in European cities: A latent class approach. *Tourism Management*, 27, s. 1408-1413.

WANG, J., MO, H., WANG, F., JIN, F. (2011): Exploring the network structure and nodal centrality of China's air transport. *Journal of Transport Geography*, č. 19, s. 712-721.

WATTS, D. J., STROGATZ, S. H. (1998): Collective dynamics of „small-world“ networks. *Nature*, č. 393, s. 440-442.

WILKINSON, S. M., DUNN, S., MA, SHU (2012): The vulnerability of the European air traffic network to spatial hazards. *Nat Hazards*, č. 60, s. 1027-1036.

WILLIAMS, G., PAGLIARI, R. (2004): A comparative analysis of the application and use of public service obligations in air transport within the EU. *Transport policy*, 11, č. 1, s. 55-66.

XU, Z., HARRISS, R. (2008): Exploring the structure of the US intercity passenger air transportation network: a weighted complex network approach. *GeoJournal*, 73, s. 87-102.

## 9.2. Ostatní zdroje

ACNL (2019): Airport coordination Netherlands. Dostupné z:

<https://slotcoordination.nl/slot-allocation/declared-capacity/> [cit. 5. 3. 2019]

AECFA (2019): Slot Coordination – Spanish Airports. Dostupné z:

<https://www.slotcoordination.es/csee/Satellite/Slots/en/Page/1237544440299//Library.html>  
[cit. 5. 3. 2019]

Airbus (2018): Commercial aircraft – Previous Generation Aircraft. Dostupné z:

<https://www.airbus.com/aircraft/previous-generation-aircraft/a340-family/a340-500.html>  
[cit. 9. 2. 2019]

Avia adv (2017): Statistics. Passenger traffic at Russian airports. Dostupné z:

<http://www.avia-adv.ru/en/placement/airports/passenger-traffic.htm#> [cit. 12. 2. 2018]

BCS (2019): Belgium slot coordination – capacity. Dostupné z:

<https://www.brucoord.org/capacity> [cit. 5. 3. 2019]

Cohor (2019): Airport coordination France. Dostupné z: <https://www.cohor.org/en/regles/>

[cit. 5. 3. 2019]

EUROCONTROL (2017): The rapid rise of low-cost carriers. Dostupné z:

<https://www.eurocontrol.int/news/rapid-rise-low-cost-carriers> [cit. 28. 10. 2018]

EUROSTAT (2017): Aircraft traffic data by main airport. Dostupné z:

<https://ec.europa.eu/eurostat/web/transport/data/database> [cit. 12. 2. 2018]

Evropská komise (2015): Development of the EU's external aviation policy. Dostupné z:

[https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/international\\_aviation/doc/dev\\_elopent\\_aviation\\_policy.pdf](https://ec.europa.eu/transport/sites/transport/files/modes/air/international_aviation/doc/dev_elopent_aviation_policy.pdf) [cit. 27. 10. 2018]

FlightConnections (2018): Flight Connections – All flights worldwide on a flight map.

Dostupné z: <https://www.flightconnections.com/> [cit. 25. 2. 2018]

Fluko (2019): Flughafenenkoordination Deutschland - Airport Capacity Parameters.

Dostupné z: <https://fluko.org/en/flughaefen/flughafen-kapazitaets-parameter/>  
[cit. 5. 3. 2019]

GaWC (2018): Globalization and World Cities. Dostupné z:

<https://www.lboro.ac.uk/gawc/world2018t.html> [cit. 5. 1. 2019]

OCS (2019): Online Coordination System. Dostupné z: <https://www.online-coordination.com/Default.aspx?tabid=AvailWeek&AspxAutoDetectCookieSupport=1>  
[cit. 5. 3. 2019]

SKYTEAM (2018): A history of excellence. Dostupné z:  
<https://www.skyteam.com/en/about/history/> [cit. 6. 10. 2018]

SWISS (2019): Company profile. Dostupné z:  
<https://www.swiss.com/corporate/EN/company/about-us/company-profile> [cit. 11. 2. 2019]

# PŘÍLOHY

*Příloha 1: Souhrnné informace za vybraná letiště*

| Název letiště  | IATA kód | Obsluhované město | Stát           | Počet cestujících v roce 2016 |
|--|----------|-------------------|----------------|-------------------------------|
| Aalborg Airport                                      | AAL      | Aalborg           | Dánsko         | 1 492 659                     |
| Aberdeen International Airport                       | ABZ      | Aberdeen          | Velká Británie | 2 945 901                     |
| Lanzarote Airport                                    | ACE      | Lanzarote         | Španělsko      | 6 683 966                     |
| Sochi International Airport                          | AER      | Sochi             | Rusko          | 5 263 275                     |
| Ålesund Airport, Vigra                               | AES      | Ålesund           | Norsko         | 1 061 809                     |
| Málaga Costa del Sol Airport                         | AGP      | Málaga            | Španělsko      | 16 672 776                    |
| Alghero - Riviera del Corallo Airport                | AHO      | Alghero           | Itálie         | 1 343 001                     |
| Ajaccio Napoleon Bonaparte Airport                   | AJA      | Ajaccio           | Francie        | 1 419 756                     |
| Alicante-Elche Airport                               | ALC      | Alicante          | Španělsko      | 12 344 945                    |
| Amsterdam Airport Schipol                            | AMS      | Amsterdam         | Nizozemsko     | 63 625 664                    |
| Stockholm Arlanda Airport                            | ARN      | Stockholm         | Švédsko        | 24 682 466                    |
| Athens International Airport "Eleftherios Venizelos" | ATH      | Athény            | Řecko          | 20 017 530                    |
| Barcelona El Prat Airport                            | BCN      | Barcelona         | Španělsko      | 44 154 693                    |
| Brindisi Airport                                     | BDS      | Brindisi          | Itálie         | 2 320 280                     |
| Belgrade Nikola Tesla Airport                        | BEG      | Bělehrad          | Srbsko         | 4 924 992                     |
| Belfast International Airport                        | BFS      | Belfast           | Velká Británie | 5 147 546                     |
| Bergen Airport, Flesland                             | BGO      | Bergen            | Norsko         | 5 949 060                     |
| Orio al Serio International Airport                  | BGY      | Miláno, Bergámo   | Itálie         | 11 159 631                    |
| George Best Belfast City Airport                     | BHD      | Belfast           | Velká Británie | 2 665 139                     |
| Birmingham Airport                                   | BHX      | Birmingham        | Velká Británie | 11 645 334                    |
| Bastia – Poretta Airport                             | BIA      | Bastilla          | Francie        | 1 284 878                     |
| Bilbao Airport                                       | BIO      | Bilbao            | Španělsko      | 4 588 265                     |



| Název letiště                                       | IATA kód | Obsluhované město           | Stát                        | Počet cestujících v roce 2016 |
|---|----------|-----------------------------|-----------------------------|-------------------------------|
| Biarritz Pays Basque Airport                        | BIQ      | Biarritz                    | Francie                     | 1 134 817                     |
| Billund Airport                                     | BLL      | Billund                     | Dánsko                      | 3 100 923                     |
| Bologna Guglielmo Marconi Airport                   | BLQ      | Bologna                     | Itálie                      | 7 680 992                     |
| Stockholm Bromma Airport                            | BMA      | Stockholm                   | Švédsko                     | 2 510 568                     |
| Bordeaux-Mérignac Airport                           | BOD      | Bordeaux                    | Francie                     | 5 779 569                     |
| Burgas Airport                                      | BOJ      | Burgas                      | Bulharsko                   | 2 853 533                     |
| Bodø Airport  | BOO      | Bodø                        | Norsko                      | 1 918 298                     |
| Bremen Airport Hans Koschnick                       | BRE      | Brémy                       | Německo                     | 2 568 351                     |
| Bari Airport  | BRI      | Bari                        | Itálie                      | 4 322 797                     |
| Bristol Airport                                     | BRS      | Bristol                     | Velká Británie              | 7 610 780                     |
| Brussels Airport                                    | BRU      | Brusel                      | Belgie                      | 21 818 418                    |
| EuroAirport Basel Mulhouse Freiburg                 | BSL      | Basilej, Mulhouse, Freiburg | Francie, Německo, Švýcarsko | 7 314 269                     |
| M. R. Štefánik Airport                              | BTS      | Bratislava                  | Slovensko                   | 1 745 969                     |
| Budapest Ferenc Liszt International Airport         | BUD      | Budapešť                    | Maďarsko                    | 11 441 999                    |
| Beauvais-Tillé Airport                              | BVA      | Beauvais                    | Francie                     | 3 997 856                     |
| Cagliari Elmas Airport                              | CAG      | Cagliari                    | Itálie                      | 3 695 045                     |
| Charles de Gaulle Airport                           | CDG      | Paříž                       | Francie                     | 65 933 145                    |
| Corfu International Airport, "Ioannis Kapodistrias" | CFU      | Korfu                       | Řecko                       | 2 774 960                     |
| Cologne Bonn Airport                                | CGN      | Kolín, Bonn                 | Německo                     | 11 910 138                    |
| Rome Ciampino Airport                               | CIA      | Řím                         | Itálie                      | 5 395 699                     |
| Avram Iancu Cluj International Airport              | CLJ      | Cluj                        | Rumunsko                    | 1 880 171                     |
| Copenhagen Airport, Kastrup                         | CPH      | Kodaň                       | Dánsko                      | 29 043 287                    |
| Brussels South Charleroi Airport                    | CRL      | Charleroi                   | Belgie                      | 7 303 720                     |
| Catania-Fontanarossa Airport                        | CTA      | Catania                     | Itálie                      | 7 914 117                     |
| Cardiff Airport                                     | CWL      | Cardiff                     | Velká Británie              | 1 344 273                     |

| Název letiště                                   | IATA kód | Obsluhované město               | Stát           | Počet cestujících v roce 2016 |
|---|----------|---------------------------------|----------------|-------------------------------|
| Dubrovnik Airport                               | DBV      | Cavtat, Dubrovnik, Herceg, Novi | Chorvatsko     | 1 977 723                     |
| Moscow Domodedovo Airport                       | DME      | Moskva                          | Rusko          | 28 500 259                    |
| Dresden Airport                                 | DRS      | Drážďany                        | Německo        | 1 656 750                     |
| Doncaster Sheffield Airport                     | DSA      | Doncaster, Sheffield            | Velká Británie | 1 255 592                     |
| Dortmund Airport                                | DTM      | Dortmund                        | Německo        | 1 915 567                     |
| Dublin Airport                                  | DUB      | Dublin                          | Irsko          | 27 907 384                    |
| Düsseldorf Airport                              | DUS      | Düsseldorf                      | Německo        | 23 521 919                    |
| Edinburgh Airport                               | EDI      | Edinburgh                       | Velká Británie | 12 348 425                    |
| Eindhoven Airport                               | EIN      | Eindhoven                       | Nizozemsko     | 4 736 205                     |
| East Midlands Airport                           | EMA      | Derby, Leicester, Nottingham    | Velká Británie | 4 653 818                     |
| Faro Airport                                    | FAO      | Faro                            | Portugalsko    | 7 630 909                     |
| Leonardo da Vinci-Fiumucino Airport             | FCO      | Řím                             | Itálie         | 41 744 769                    |
| Karlsruhe/Baden-Baden Airport                   | FKB      | Karlsruhe, Baden-Baden          | Německo        | 1 101 731                     |
| Florence Airport, Peretola                      | FLR      | Florence                        | Itálie         | 2 503 311                     |
| Cristiano Ronaldo Madeira International Airport | FNC      | Madeira                         | Portugalsko    | 2 973 930                     |
| Frankfurt Airport                               | FRA      | Frankfurt                       | Německo        | 60 786 937                    |
| Fuerteventura                                   | FUE      | Puerto del Rosario              | Španělsko      | 5 676 817                     |
| Gdańsk Lech Wałęsa Airport                      | GDN      | Gdaňsk                          | Polsko         | 4 004 081                     |
| Glasgow Airport                                 | GLA      | Glasgow                         | Velká Británie | 9 327 193                     |
| Genoa Airport                                   | GOA      | Janov                           | Itálie         | 1 261 065                     |
| Göteborg Landvetter Airport                     | GOT      | Göteborg                        | Švédsko        | 6 369 396                     |
| Girona–Costa Brava Airport                      | GRO      | Girona, Costa Brava, Barcelona  | Španělsko      | 1 658 642                     |
| Geneva Airport                                  | GVA      | Ženeva                          | Švýcarsko      | 16 532 690                    |

| Název letiště  | IATA kód | Obsluhované město | Stát           | Počet cestujících v roce 2016 |
|--|----------|-------------------|----------------|-------------------------------|
| Hanover Airport                                      | HAJ      | Hanover           | Německo        | 5 408 814                     |
| Hamburg Airport                                      | HAM      | Hamburg           | Německo        | 16 224 154                    |
| Helsinki-Vantaa Airport                              | HEL      | Helsinky          | Finsko         | 17 184 681                    |
| Heraklion International Airport, "Nikos Kazantzakis" | HER      | Heraklion         | Řecko          | 6 742 746                     |
| Frankfurt–Hahn Airport                               | HHN      | Kirchberg         | Německo        | 2 514 919                     |
| Chania International Airport, "Daskalogiannis"       | CHQ      | Chania            | Řecko          | 2 966 556                     |
| Ibiza Airports                                       | IBZ      | Ibiza             | Španělsko      | 7 416 368                     |
| Igor Sikorsky Kyiv International Airport (Zhuliany)  | IEV      | Kyjev             | Ukrajina       | 1 127 500                     |
| Innsbruck Airport                                    | INN      | Innsbruck         | Rakousko       | 1 011 469                     |
| Istanbul Atatürk Airport                             | IST      | Istanbul          | Turecko        | 60 415 470                    |
| Mykonos International Airport                        | JMK      | Mykonos           | Řecko          | 1 017 182                     |
| Santorini (Thira) International Airport              | JTR      | Kamari            | Řecko          | 1 706 678                     |
| Boryspil International Airport                       | KBP      | Kyjev             | Ukrajina       | 8 650 000                     |
| Keflavík International Airport                       | KEF      | Reykjavík         | Island         | 6 821 358                     |
| Khrabrovo Airport                                    | KGD      | Kaliningrad       | Rusko          | 1 570 854                     |
| Kos International Airport, "Hippocrates"             | KGS      | Kos               | Řecko          | 1 922 401                     |
| Chişinău International Airport                       | KIV      | Kišinev           | Moldavsko      | 2 206 266                     |
| John Paul II International Airport Kraków–Balice     | KRK      | Krakow            | Polsko         | 4 983 645                     |
| Pashkovsky Airport                                   | KRR      | Krasnodar         | Rusko          | 3 498 126                     |
| Kristiansand Airport, Kjevik                         | KRS      | Kristiansand      | Norsko         | 1 023 062                     |
| Katowice International Airport                       | KTW      | Katowice          | Polsko         | 3 221 261                     |
| Kurumoch International Airport                       | KUF      | Samara            | Rusko          | 2 091 818                     |
| Kazan International Airport                          | KZN      | Kazan             | Rusko          | 1 923 223                     |
| Leeds Bradford Airport                               | LBA      | Leeds, Bradford   | Velká Británie | 3 612 117                     |
| Larnaca International Airport                        | LCA      | Larnaca           | Kypr           | 6 637 692                     |

| Název letiště                        | IATA kód | Obsluhované město                          | Stát           | Počet cestujících v roce 2016 |
|--------------------------------------|----------|--|----------------|-------------------------------|
| A Coruña Airport                     | LCG      | A Coruña                                   | Španělsko      | 1 061 292                     |
| London City Airport                  | LCY      | Londýn                                     | Velká Británie | 4 538 813                     |
| Pulkovo Airport                      | LED      | Petrohrad                                  | Rusko          | 13 265 037                    |
| Leipzig/Halle Airport                | LEJ      | Leipzig, Halle                             | Německo        | 2 176 722                     |
| Gatwick Airport                      | LGW      | Londýn                                     | Velká Británie | 43 119 628                    |
| Heathrow Airport                     | LHR      | Londýn                                     | Velká Británie | 75 711 130                    |
| Lille Airport                        | LIL      | Lille                                      | Francie        | 1 772 322                     |
| Linate Airport                       | LIN      | Miláno                                     | Itálie         | 9 682 264                     |
| Lisbon Airport                       | LIS      | Lisabon                                    | Portugalsko    | 22 449 289                    |
| Ljubljana Jože Pučnik Airport        | LJU      | Lublaň                                     | Slovinsko      | 1 404 152                     |
| Luleå Airport                        | LLA      | Luleå                                      | Švédsko        | 1 198 030                     |
| Gran Canaria Airport                 | LPA      | Gran Canaria                               | Španělsko      | 12 093 645                    |
| Liverpool John Lennon Airport        | LPL      | Liverpool                                  | Velká Británie | 4 778 939                     |
| Luton Airport                        | LTN      | Londýn                                     | Velká Británie | 14 645 619                    |
| Luxembourg Airport                   | LUX      | Lucemburk                                  | Lucembursko    | 2 984 242                     |
| Lyon Saint-Exupéry Airport           | LYS      | Lyon                                       | Francie        | 9 553 250                     |
| Adolfo Suárez Madrid-Barajas Airport | MAD      | Madrid                                     | Španělsko      | 50 420 583                    |
| Menorca Airport                      | MAH      | Mahón                                      | Španělsko      | 3 178 612                     |
| Manchester Airport                   | MAN      | Manchester                                 | Velká Británie | 25 637 054                    |
| Makhachkala Uytash Airport           | MCX      | Makhachkala                                | Rusko          | 1 067 684                     |
| Murcia–San Javier Airport            | MJV      | Murcia                                     | Španělsko      | 1 096 048                     |
| Malta International Airport          | MLA      | Malta                                      | Malta          | 5 080 071                     |
| Malmö Airport                        | MMX      | Malmö                                      | Švédsko        | 2 219 958                     |
| Montpellier–Méditerranée Airport     | MPL      | Montpellier                                | Francie        | 1 664 845                     |
| Marseille Provence Airport           | MRS      | Marseille                                  | Francie        | 8 475 809                     |
| Mineralnye Vody Airport              | MRV      | Mineralnye Vody,<br>Cherkessk, Kislovodsk, | Rusko          | 2 180 178                     |

| Název letiště                                | IATA kód | Obsluhované město                          | Stát           | Počet cestujících v roce 2016 |
|--|----------|--|----------------|-------------------------------|
|  |          | Mineralnye Vody,<br>Pyatigorsk, Yessentuki |                |                               |
| Minsk National Airport                       | MSQ      | Minsk                                      | Bělorusko      | 3 429 112                     |
| Munich Airport                               | MUC      | Mnichov                                    | Německo        | 42 261 309                    |
| Malpensa Airport                             | MLP      | Miláno                                     | Itálie         | 19 420 690                    |
| Naples Airport                               | NAP      | Neapol                                     | Itálie         | 6 775 988                     |
| Nice Côte d'Azur Airport                     | NCE      | Nice                                       | Francie        | 12 427 427                    |
| Newcastle Airport                            | NCL      | Newcastle upon Tyne                        | Velká Británie | 4 807 906                     |
| Weeze Airport                                | NRN      | Kreis Kleve, Nijmegen,<br>Duisburg         | Německo        | 1 853 346                     |
| Nantes Atlantique Airport                    | NTE      | Nantes                                     | Francie        | 4 778 967                     |
| Nuremberg Airport                            | NUE      | Norimberk                                  | Německo        | 3 485 372                     |
| Nyköping Airport                             | NYO      | Stockholm                                  | Švédsko        | 2 025 206                     |
| Odessa International Airport                 | ODS      | Oděsa                                      | Ukrajina       | 1 033 560                     |
| Olbia Costa Smeralda Airport                 | OLB      | Olbia                                      | Itálie         | 2 518 938                     |
| Porto Airport                                | OPO      | Porto                                      | Portugalsko    | 9 378 082                     |
| Cork Airport                                 | ORK      | Cork                                       | Irsko          | 2 222 775                     |
| Orly Airport                                 | ORY      | Paříž                                      | Francie        | 31 237 865                    |
| Oslo Airport, Gardermoen                     | OSL      | Oslo                                       | Norsko         | 25 787 691                    |
| Bucharest Henri Coandă International Airport | OTP      | Bukurešť                                   | Rumunsko       | 10 982 967                    |
| Oulu Airport                                 | OUL      | Oulu                                       | Finsko         | 1 027 376                     |
| Asturias Airport                             | OVD      | Asturias                                   | Španělsko      | 1 279 630                     |
| João Paulo II Airport                        | PDL      | Ponta Delgada                              | Portugalsko    | 1 518 954                     |
| Perm International Airport                   | PEE      | Perm                                       | Rusko          | 1 131 844                     |
| Paphos International Airport                 | PFO      | Timi, Acheleia                             | Řecko          | 2 334 629                     |
| Palma de Mallorca Airport                    | PMI      | Palma de Mallorca                          | Španělsko      | 26 253 882                    |
| Falcone-Borsellino Airport                   | PMO      | Palermo                                    | Itálie         | 5 325 559                     |

| Název letiště                                 | IATA kód | Obsluhované město      | Stát           | Počet cestujících v roce 2016 |
|---|----------|------------------------|----------------|-------------------------------|
| Poznań–Ławica Henryk Wieniawski Airport       | POZ      | Poznan                 | Polsko         | 1 694 960                     |
| Václav Havel Airport Prague                   | PRG      | Praha                  | Česko          | 13 074 517                    |
| Pristina International Airport "Adem Jashari" | PRN      | Pristina               | Kosovo         | 1 744 202                     |
| Galileo Galilei Airport                       | PSA      | Pisa                   | Itálie         | 4 989 496                     |
| Rhodes International Airport, "Diagoras"      | RHO      | Rhodos                 | Řecko          | 4 942 386                     |
| Riga International Airport                    | RIX      | Riga                   | Lotyšsko       | 5 400 243                     |
| Platov International Airport                  | ROV      | Rostov na Donu         | Rusko          | 2 094 953                     |
| Rotterdam The Hague Airport                   | RTM      | Rotterdam, Haag        | Nizozemsko     | 1 651 220                     |
| Santiago de Compostela Airport                | SCQ      | Santiago de Compostela | Španělsko      | 2 507 685                     |
| Simferopol International Airport              | SIP      | Simferopol             | Ukrajina       | 5 201 690                     |
| Thessaloniki Airport "Makedonia"              | SKG      | Thessaloniki           | Řecko          | 5 687 325                     |
| Skopje Airport                                | SKP      | Skopje                 | Makedonie      | 1 649 374                     |
| Shannon Airport                               | SNN      | Shannon                | Irsko          | 1 651 231                     |
| Sofia Airport                                 | SOF      | Sofia                  | Bulharsko      | 4 980 387                     |
| Southampton Airport                           | SOU      | Southampton            | Velká Británie | 1 946 938                     |
| La Palma Airport                              | SPC      | La Palma               | Španělsko      | 1 102 065                     |
| Split Airport                                 | SPU      | Split                  | Chorvatsko     | 2 262 806                     |
| London Stanstead Airport                      | STN      | Londýn                 | Velká Británie | 24 320 071                    |
| Stuttgart Airport                             | STR      | Stuttgart              | Německo        | 10 626 430                    |
| Lamezia Terme International Airport           | SUF      | Lamezia Terme          | Itálie         | 2 528 885                     |
| Stavanger Airport, Sola                       | SVG      | Stavanger              | Norsko         | 4 193 665                     |
| Sheremetyevo International Airport            | SVO      | Moskva                 | Rusko          | 33 679 052                    |
| Sevilla Airport                               | SVQ      | Sevilla                | Španělsko      | 4 624 038                     |
| Strasbourg Airport                            | SXB      | Štrasburk              | Francie        | 1 059 227                     |
| Berlin Schönefeld Airport                     | SXF      | Berlín                 | Německo        | 11 652 922                    |
| Salzburg Airport                              | SZG      | Salzburg               | Rakousko       | 1 748 826                     |

| Název letiště                               | IATA kód | Obsluhované město         | Stát       | Počet cestujících v roce 2016 |
|---|----------|---------------------------|------------|-------------------------------|
| Tenerife Norte Airport                      | TFN      | Santa Cruz de Tenerife    | Španělsko  | 4 219 633                     |
| Tenerife South Airport                      | TFS      | Santa Cruz de Tenerife    | Španělsko  | 10 472 404                    |
| Tirana International Airport Nënë Tereza    | TIA      | Tirana                    | Albánie    | 2 200 449                     |
| Lennart Meri Tallinn Airport                | TLL      | Tallin                    | Estonsko   | 2 215 073                     |
| Toulouse-Blagnac Airport                    | TLS      | Toulouse                  | Francie    | 8 081 179                     |
| Tromsø Airport, Langnes                     | TOS      | Langnes, Tromsøya, Tromsø | Norsko     | 2 208 646                     |
| Vincenzo Florio Airport Trapani–Birgi       | TPS      | Trapani                   | Itálie     | 1 496 942                     |
| Trondheim Airport, Værnes                   | TRD      | Trondheim                 | Norsko     | 4 417 490                     |
| Sandefjord Airport, Torp                    | TRF      | Sandefjord                | Norsko     | 1 442 980                     |
| Turin Airport                               | TRN      | Turín                     | Itálie     | 3 950 908                     |
| Treviso Airport                             | TSF      | Treviso, Benátky          | Itálie     | 2 629 754                     |
| Timișoara Traian Vuia International Airport | TSR      | Temešvár                  | Rumunsko   | 1 159 852                     |
| Berlin Tegel Airport                        | TXL      | Berlín                    | Německo    | 21 253 959                    |
| Ufa International Airport                   | UFA      | Ufa                       | Rusko      | 2 318 434                     |
| Umeå Airport                                | UME      | Umeå                      | Švédsko    | 1 059 254                     |
| Varna Airport                               | VAR      | Varna                     | Bulharsko  | 1 668 753                     |
| Venice Marco Polo Airport                   | VCE      | Benátky                   | Itálie     | 9 624 748                     |
| Vienna International Airport                | VIE      | Vídeň                     | Rakousko   | 23 352 016                    |
| Vnukovo International Airport               | VKO      | Moskva                    | Rusko      | 13 946 688                    |
| Valencia Airport                            | VLC      | Valencia                  | Španělsko  | 5 799 104                     |
| Vilnius Airport                             | VNO      | Vilnius                   | Litva      | 3 814 001                     |
| Verona Villafranca Airport                  | VRN      | Verona                    | Itálie     | 2 775 195                     |
| Warsaw Chopin Airport                       | WAW      | Varšava                   | Polsko     | 12 795 356                    |
| Warsaw Modlin Airport                       | WMI      | Varšava                   | Polsko     | 2 859 191                     |
| Wrocław–Copernicus Airport                  | WRO      | Wroclav                   | Polsko     | 2 375 008                     |
| Franjo Tuđman Airport                       | ZAG      | Záhřeb                    | Chorvatsko | 2 756 582                     |

| Název letiště                                       | IATA kód | Obsluhované město | Stát      | Počet cestujících v roce 2016 |
|---|----------|-------------------|-----------|-------------------------------|
| Zürich Airport                                      | ZRH      | Curych            | Švýcarsko | 27 666 428                    |
| Zakynthos International Airport "Dionysios Solomos" | ZTH      | Zakynthos         | Řecko     | 1 419 585                     |

*Zdroj: Eurostat 2017, Avia adv 2017*

**Příloha 2: Míry konektivity za vybraná letiště**

| Název letiště  | IATA kód | k <sub>i</sub> | s <sub>i</sub> - Evropa | C <sub>B(i)</sub> | C <sub>C(i)</sub> | s <sub>i</sub> - svět | Evropa % | s <sub>i</sub> - celkem |
|--|----------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| Aalborg Airport                                      | AAL      | 15             | 146                     | 0,87              | 396               | 2                     | 98,65    | 148                     |
| Aberdeen International Airport                       | ABZ      | 26             | 332                     | 7,57              | 383               | 0                     | 100,00   | 332                     |
| Lanzarote Airport                                    | ACE      | 66             | 520                     | 76,22             | 340               | 0                     | 100,00   | 520                     |
| Sochi International Airport                          | AER      | 15             | 297                     | 6,47              | 450               | 37                    | 88,92    | 334                     |
| Ålesund Airport, Vigra                               | AES      | 6              | 79                      | 0,02              | 429               | 0                     | 100,00   | 79                      |
| Málaga Costa del Sol Airport                         | AGP      | 105            | 867                     | 320,84            | 291               | 16                    | 98,19    | 883                     |
| Alghero - Riviera del Corallo Airport                | AHO      | 10             | 54                      | 0,81              | 430               | 0                     | 100,00   | 54                      |
| Ajaccio Napoleon Bonaparte Airport                   | AJA      | 20             | 124                     | 5,84              | 396               | 0                     | 100,00   | 124                     |
| Alicante-Elche Airport                               | ALC      | 90             | 610                     | 334,82            | 306               | 28                    | 95,61    | 638                     |
| Amsterdam Airport Schipol                            | AMS      | 138            | 3369                    | 663,63            | 260               | 776                   | 81,28    | 4145                    |
| Stockholm Arlanda Airport                            | ARN      | 93             | 1171                    | 366,53            | 303               | 121                   | 90,63    | 1292                    |
| Athens International Airport "Eleftherios Venizelos" | ATH      | 90             | 1212                    | 181,06            | 306               | 156                   | 88,60    | 1368                    |
| Barcelona El Prat Airport                            | BCN      | 129            | 2014                    | 526,77            | 267               | 250                   | 88,96    | 2264                    |
| Brindisi Airport                                     | BDS      | 23             | 135                     | 4,63              | 392               | 0                     | 100,00   | 135                     |
| Belgrade Nikola Tesla Airport                        | BEG      | 49             | 357                     | 38,87             | 349               | 55                    | 86,65    | 412                     |
| Belfast International Airport                        | BFS      | 50             | 452                     | 28,10             | 359               | 12                    | 97,41    | 464                     |
| Bergen Airport, Flesland                             | BGO      | 35             | 413                     | 44,63             | 367               | 4                     | 99,04    | 417                     |
| Orio al Serio International Airport                  | BGY      | 69             | 607                     | 165,17            | 329               | 28                    | 95,59    | 635                     |
| George Best Belfast City Airport                     | BHD      | 17             | 327                     | 2,92              | 413               | 0                     | 100,00   | 327                     |
| Birmingham Airport                                   | BHX      | 78             | 780                     | 112,50            | 321               | 78                    | 90,91    | 858                     |
| Bastia – Poretta Airport                             | BIA      | 25             | 111                     | 7,03              | 390               | 0                     | 100,00   | 111                     |



| Název letiště                                       | IATA kód | k <sub>i</sub> | s <sub>i</sub> - Evropa | C <sub>B(i)</sub> | C <sub>C(i)</sub> | s <sub>i</sub> - svět | Evropa % | s <sub>i</sub> - celkem |
|---|----------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| Bilbao Airport                                      | BIO      | 40             | 311                     | 7,51              | 363               | 0                     | 100,00   | 311                     |
| Biarritz Pays Basque Airport                        | BIQ      | 12             | 88                      | 1,22              | 407               | 0                     | 100,00   | 88                      |
| Billund Airport                                     | BLL      | 39             | 267                     | 18,70             | 362               | 6                     | 97,80    | 273                     |
| Bologna Guglielmo Marconi Airport                   | BLQ      | 58             | 504                     | 82,50             | 340               | 42                    | 92,31    | 546                     |
| Stockholm Bromma Airport                            | BMA      | 5              | 167                     | 1,73              | 454               | 0                     | 100,00   | 167                     |
| Bordeaux-Mérignac Airport                           | BOD      | 66             | 517                     | 54,27             | 335               | 45                    | 91,99    | 562                     |
| Burgas Airport                                      | BOJ      | 12             | 34                      | 0,60              | 396               | 0                     | 100,00   | 34                      |
| Bodø Airport  | BOO      | 6              | 110                     | 0,10              | 456               | 0                     | 100,00   | 110                     |
| Bremen Airport Hans Koschnick                       | BRE      | 23             | 144                     | 3,20              | 382               | 10                    | 93,51    | 154                     |
| Bari Airport  | BRI      | 51             | 277                     | 38,60             | 354               | 1                     | 99,64    | 278                     |
| Bristol Airport                                     | BRS      | 75             | 504                     | 76,95             | 326               | 10                    | 98,05    | 514                     |
| Brussels Airport                                    | BRU      | 115            | 1550                    | 419,45            | 281               | 274                   | 84,98    | 1824                    |
| EuroAirport Basel Mulhouse Freiburg                 | BSL      | 70             | 579                     | 71,37             | 329               | 30                    | 95,07    | 609                     |
| M. R. Štefánik Airport                              | BTS      | 19             | 77                      | 7,95              | 385               | 10                    | 88,51    | 87                      |
| Budapest Ferenc Liszt International Airport         | BUD      | 97             | 767                     | 188,23            | 299               | 89                    | 89,60    | 856                     |
| Beauvais-Tillé Airport                              | BVA      | 33             | 156                     | 21,38             | 388               | 23                    | 87,15    | 179                     |
| Cagliari Elmas Airport                              | CAG      | 42             | 206                     | 45,83             | 369               | 1                     | 99,52    | 207                     |
| Charles de Gaulle Airport                           | CDG      | 113            | 2404                    | 300,79            | 284               | 1261                  | 65,59    | 3665                    |
| Corfu International Airport, "Ioannis Kapodistrias" | CFU      | 43             | 152                     | 21,53             | 358               | 0                     | 100,00   | 152                     |
| Cologne Bonn Airport                                | CGN      | 84             | 544                     | 164,55            | 313               | 67                    | 89,03    | 611                     |
| Rome Ciampino Airport                               | CIA      | 37             | 290                     | 17,60             | 369               | 7                     | 97,64    | 297                     |
| Avram Iancu Cluj International Airport              | CLJ      | 39             | 173                     | 24,46             | 364               | 6                     | 96,65    | 179                     |
| Copenhagen Airport, Kastrup                         | CPH      | 100            | 1622                    | 267,44            | 296               | 150                   | 91,53    | 1772                    |
| Brussels South Charleroi Airport                    | CRL      | 61             | 327                     | 124,55            | 342               | 60                    | 84,50    | 387                     |
| Catania-Fontanarossa Airport                        | CTA      | 56             | 498                     | 26,41             | 341               | 10                    | 98,03    | 508                     |
| Cardiff Airport                                     | CWL      | 26             | 134                     | 5,31              | 386               | 6                     | 95,71    | 140                     |
| Dubrovnik Airport                                   | DBV      | 52             | 201                     | 27,60             | 349               | 6                     | 97,10    | 207                     |
| Moscow Domodedovo Airport                           | DME      | 55             | 865                     | 328,66            | 343               | 605                   | 58,84    | 1470                    |

| Název letiště  | IATA kód | k <sub>i</sub> | s <sub>i</sub> - Evropa | C <sub>B(i)</sub> | C <sub>C(i)</sub> | s <sub>i</sub> - svět | Evropa % | s <sub>i</sub> - celkem |
|--|----------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| Dresden Airport                                      | DRS      | 24             | 144                     | 3,77              | 380               | 4                     | 97,30    | 148                     |
| Doncaster Sheffield Airport                          | DSA      | 17             | 53                      | 2,95              | 398               | 1                     | 98,15    | 54                      |
| Dortmund Airport                                     | DTM      | 24             | 112                     | 10,00             | 385               | 4                     | 96,55    | 116                     |
| Dublin Airport                                       | DUB      | 104            | 1561                    | 207,14            | 296               | 240                   | 86,67    | 1801                    |
| Düsseldorf Airport                                   | DUS      | 101            | 1283                    | 203,52            | 295               | 190                   | 87,10    | 1473                    |
| Edinburgh Airport                                    | EDI      | 96             | 886                     | 173,49            | 303               | 45                    | 95,17    | 931                     |
| Eindhoven Airport                                    | EIN      | 58             | 306                     | 66,63             | 342               | 23                    | 93,01    | 329                     |
| East Midlands Airport                                | EMA      | 44             | 258                     | 35,49             | 357               | 15                    | 94,51    | 273                     |
| Faro Airport   | FAO      | 64             | 372                     | 74,00             | 341               | 1                     | 99,73    | 373                     |
| Leonardo da Vinci-Fiumicino Airport                  | FCO      | 101            | 1840                    | 210,08            | 296               | 487                   | 79,07    | 2327                    |
| Karlsruhe/Baden-Baden Airport                        | FKB      | 23             | 94                      | 8,06              | 382               | 7                     | 93,07    | 101                     |
| Florence Airport, Peretola                           | FLR      | 22             | 234                     | 2,41              | 389               | 1                     | 99,57    | 235                     |
| Cristiano Ronaldo Madeira International Airport      | FNC      | 44             | 189                     | 20,21             | 359               | 0                     | 100,00   | 189                     |
| Frankfurt Airport                                    | FRA      | 129            | 2207                    | 520,06            | 267               | 995                   | 68,93    | 3202                    |
| Fuerteventura  | FUE      | 73             | 437                     | 84,36             | 328               | 0                     | 100,00   | 437                     |
| Gdańsk Lech Wałęsa Airport                           | GDN      | 49             | 304                     | 90,59             | 354               | 6                     | 98,06    | 310                     |
| Glasgow Airport                                      | GLA      | 62             | 626                     | 49,64             | 341               | 50                    | 92,60    | 676                     |
| Genoa Airport  | GOA      | 18             | 93                      | 1,39              | 383               | 0                     | 100,00   | 93                      |
| Göteborg Landvetter Airport                          | GOT      | 53             | 431                     | 157,81            | 348               | 11                    | 97,51    | 442                     |
| Girona–Costa Brava Airport                           | GRO      | 21             | 58                      | 11,84             | 382               | 2                     | 96,67    | 60                      |
| Geneva Airport                                       | GVA      | 100            | 1186                    | 192,10            | 297               | 111                   | 91,44    | 1297                    |
| Hanover Airport                                      | HAI      | 50             | 358                     | 38,39             | 348               | 52                    | 87,32    | 410                     |
| Hamburg Airport                                      | HAM      | 91             | 1068                    | 123,22            | 305               | 45                    | 95,96    | 1113                    |
| Helsinki-Vantaa Airport                              | HEL      | 78             | 904                     | 309,76            | 320               | 184                   | 83,09    | 1088                    |
| Heraklion International Airport, "Nikos Kazantzakis" | HER      | 53             | 433                     | 35,15             | 348               | 15                    | 96,65    | 448                     |
| Frankfurt–Hahn Airport                               | HHN      | 32             | 90                      | 19,73             | 377               | 14                    | 86,54    | 104                     |
| Chania International Airport, "Daskalogiannis"       | CHQ      | 23             | 86                      | 5,63              | 382               | 0                     | 100,00   | 86                      |
| Ibiza Airports                                       | IBZ      | 49             | 439                     | 23,11             | 358               | 0                     | 100,00   | 439                     |

| Název letiště                                       | IATA kód | k <sub>i</sub> | s <sub>i</sub> - Evropa | C <sub>B(i)</sub> | C <sub>C(i)</sub> | s <sub>i</sub> - svět | Evropa % | s <sub>i</sub> - celkem |
|---|----------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| Igor Sikorsky Kyiv International Airport (Zhuliany) | IEV      | 24             | 107                     | 16,93             | 391               | 28                    | 79,26    | 135                     |
| Innsbruck Airport                                   | INN      | 22             | 139                     | 5,31              | 379               | 0                     | 100,00   | 139                     |
| Istanbul Atatürk Airport                            | IST      | 88             | 1191                    | 335,78            | 310               | 1688                  | 41,37    | 2879                    |
| Mykonos International Airport                       | JMK      | 17             | 67                      | 0,56              | 396               | 8                     | 89,33    | 75                      |
| Santorini (Thira) International Airport             | JTR      | 24             | 121                     | 1,27              | 383               | 0                     | 100,00   | 121                     |
| Boryspil International Airport                      | KBP      | 40             | 407                     | 17,17             | 360               | 186                   | 68,63    | 593                     |
| Keflavík International Airport                      | KEF      | 48             | 332                     | 23,43             | 353               | 227                   | 59,39    | 559                     |
| Khrabrovo Airport                                   | KGD      | 12             | 154                     | 1,07              | 406               | 2                     | 98,72    | 156                     |
| Kos International Airport, "Hippocrates"            | KGS      | 39             | 144                     | 15,65             | 370               | 2                     | 98,63    | 146                     |
| Chişinău International Airport                      | KIV      | 35             | 229                     | 24,16             | 368               | 2                     | 99,13    | 231                     |
| John Paul II International Airport Kraków–Balice    | KRK      | 72             | 408                     | 86,30             | 330               | 18                    | 95,77    | 426                     |
| Pashkovsky Airport                                  | KRR      | 18             | 239                     | 12,18             | 416               | 46                    | 83,86    | 285                     |
| Kristiansand Airport, Kjevik                        | KRS      | 8              | 98                      | 0,02              | 423               | 0                     | 100,00   | 98                      |
| Katowice International Airport                      | KTW      | 35             | 155                     | 23,52             | 371               | 20                    | 88,57    | 175                     |
| Kurumoch International Airport                      | KUF      | 15             | 180                     | 7,67              | 438               | 23                    | 88,67    | 203                     |
| Kazan International Airport                         | KZN      | 18             | 180                     | 25,13             | 406               | 40                    | 81,82    | 220                     |
| Leeds Bradford Airport                              | LBA      | 51             | 342                     | 49,87             | 351               | 16                    | 95,53    | 358                     |
| Larnaca International Airport                       | LCA      | 73             | 334                     | 60,48             | 342               | 63                    | 84,13    | 397                     |
| A Coruña Airport                                    | LCG      | 8              | 61                      | 0,08              | 423               | 0                     | 100,00   | 61                      |
| London City Airport                                 | LCY      | 30             | 668                     | 14,73             | 376               | 0                     | 100,00   | 668                     |
| Pulkovo Airport                                     | LED      | 53             | 847                     | 250,38            | 344               | 253                   | 77,00    | 1100                    |
| Leipzig/Halle Airport                               | LEJ      | 22             | 140                     | 4,56              | 384               | 33                    | 80,92    | 173                     |
| Gatwick Airport                                     | LGW      | 110            | 1807                    | 385,66            | 286               | 375                   | 82,81    | 2182                    |
| Heathrow Airport                                    | LHR      | 85             | 2000                    | 176,37            | 311               | 1712                  | 53,88    | 3712                    |
| Lille Airport                                       | LIL      | 30             | 180                     | 13,91             | 389               | 16                    | 91,84    | 196                     |
| Linate Airport                                      | LIN      | 34             | 728                     | 30,10             | 373               | 0                     | 100,00   | 728                     |
| Lisbon Airport                                      | LIS      | 88             | 1230                    | 139,30            | 308               | 225                   | 84,54    | 1455                    |
| Ljubljana Jože Pučnik Airport                       | LJU      | 23             | 156                     | 4,91              | 378               | 0                     | 100,00   | 156                     |

| Název letiště                        | IATA kód | k <sub>i</sub> | s <sub>i</sub> - Evropa | C <sub>B(i)</sub> | C <sub>C(i)</sub> | s <sub>i</sub> - svět | Evropa % | s <sub>i</sub> - celkem |
|--------------------------------------|----------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| Luleå Airport                        | LLA      | 3              | 58                      | 0,66              | 492               | 0                     | 100,00   | 58                      |
| Gran Canaria Airport                 | LPA      | 87             | 981                     | 289,33            | 314               | 15                    | 98,49    | 996                     |
| Liverpool John Lennon Airport        | LPL      | 45             | 253                     | 25,46             | 358               | 4                     | 98,44    | 257                     |
| Luton Airport                        | LTN      | 83             | 685                     | 178,10            | 319               | 44                    | 93,96    | 729                     |
| Luxembourg Airport                   | LUX      | 56             | 421                     | 33,55             | 346               | 8                     | 98,14    | 429                     |
| Lyon Saint-Exupéry Airport           | LYS      | 72             | 728                     | 63,55             | 324               | 135                   | 84,36    | 863                     |
| Adolfo Suárez Madrid-Barajas Airport | MAD      | 109            | 2196                    | 260,79            | 287               | 627                   | 77,79    | 2823                    |
| Menorca Airport                      | MAH      | 34             | 141                     | 4,97              | 376               | 0                     | 100,00   | 141                     |
| Manchester Airport                   | MAN      | 103            | 1260                    | 252,35            | 296               | 237                   | 84,17    | 1497                    |
| Makhachkala Uytash Airport           | MCX      | 7              | 96                      | 0,31              | 499               | 8                     | 92,31    | 104                     |
| Murcia–San Javier Airport            | MJV      | 16             | 52                      | 2,51              | 402               | 0                     | 100,00   | 52                      |
| Malta International Airport          | MLA      | 84             | 386                     | 89,10             | 313               | 10                    | 97,47    | 396                     |
| Malmö Airport                        | MMX      | 17             | 136                     | 15,41             | 396               | 0                     | 100,00   | 136                     |
| Montpellier–Méditerranée Airport     | MPL      | 15             | 140                     | 3,92              | 413               | 17                    | 89,17    | 157                     |
| Marseille Provence Airport           | MRS      | 59             | 576                     | 35,83             | 344               | 128                   | 81,82    | 704                     |
| Mineralnye Vody Airport              | MRV      | 11             | 135                     | 2,05              | 478               | 19                    | 87,66    | 154                     |
| Minsk National Airport               | MSQ      | 32             | 302                     | 32,87             | 367               | 42                    | 87,79    | 344                     |
| Munich Airport                       | MUC      | 126            | 2114                    | 403,03            | 270               | 441                   | 82,74    | 2555                    |
| Malpensa Airport                     | MXP      | 89             | 1088                    | 137,56            | 307               | 287                   | 79,13    | 1375                    |
| Naples Airport                       | NAP      | 78             | 568                     | 80,62             | 321               | 29                    | 95,14    | 597                     |
| Nice Cote d'Azur Airport             | NCE      | 74             | 766                     | 91,96             | 322               | 67                    | 91,96    | 833                     |
| Newcastle Airport                    | NCL      | 50             | 353                     | 45,71             | 353               | 10                    | 97,25    | 363                     |
| Weeze Airport                        | NRN      | 19             | 60                      | 4,96              | 392               | 10                    | 85,71    | 70                      |
| Nantes Atlantique Airport            | NTE      | 58             | 481                     | 37,92             | 345               | 45                    | 91,44    | 526                     |
| Nuremberg Airport                    | NUE      | 48             | 343                     | 26,23             | 353               | 24                    | 93,46    | 367                     |
| Nyköping Airport                     | NYO      | 24             | 101                     | 8,03              | 390               | 1                     | 99,02    | 102                     |
| Odessa International Airport         | ODS      | 10             | 69                      | 0,57              | 432               | 11                    | 86,25    | 80                      |
| Olbia Costa Smeralda Airport         | OLB      | 36             | 152                     | 6,68              | 375               | 0                     | 100,00   | 152                     |

| Název letiště                                 | IATA kód | k <sub>i</sub> | s <sub>i</sub> - Evropa | C <sub>B(i)</sub> | C <sub>C(i)</sub> | s <sub>i</sub> - svět | Evropa % | s <sub>i</sub> - celkem |
|---|----------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| Porto Airport                                 | OPO      | 56             | 617                     | 39,39             | 347               | 33                    | 94,92    | 650                     |
| Cork Airport                                  | ORK      | 27             | 189                     | 3,93              | 385               | 3                     | 98,44    | 192                     |
| Orly Airport                                  | ORY      | 64             | 1228                    | 88,94             | 332               | 490                   | 71,48    | 1718                    |
| Oslo Airport, Gardermoen                      | OSL      | 76             | 1230                    | 192,70            | 320               | 64                    | 95,05    | 1294                    |
| Bucharest Henri Coandă International Airport  | OTP      | 80             | 746                     | 128,14            | 316               | 106                   | 87,56    | 852                     |
| Oulu Airport                                  | OUL      | 5              | 44                      | 4,17              | 451               | 0                     | 100,00   | 44                      |
| Asturias Airport                              | OVD      | 16             | 77                      | 1,26              | 398               | 0                     | 100,00   | 77                      |
| João Paulo II Airport                         | PDL      | 11             | 61                      | 0,22              | 404               | 16                    | 79,22    | 77                      |
| Perm International Airport                    | PEE      | 9              | 94                      | 0,37              | 497               | 11                    | 89,52    | 105                     |
| Paphos International Airport                  | PFO      | 27             | 111                     | 6,68              | 377               | 9                     | 92,50    | 120                     |
| Palma de Mallorca Airport                     | PMI      | 84             | 1283                    | 186,63            | 312               | 3                     | 99,77    | 1286                    |
| Falcone-Borsellino Airport                    | PMO      | 48             | 384                     | 36,94             | 360               | 3                     | 99,22    | 387                     |
| Poznań–Ławica Henryk Wieniawski Airport       | POZ      | 25             | 142                     | 10,26             | 383               | 5                     | 96,60    | 147                     |
| Václav Havel Airport Prague                   | PRG      | 97             | 924                     | 410,61            | 300               | 110                   | 89,36    | 1034                    |
| Pristina International Airport "Adem Jashari" | PRN      | 19             | 97                      | 1,75              | 394               | 6                     | 94,17    | 103                     |
| Galileo Galilei Airport                       | PSA      | 60             | 286                     | 107,22            | 337               | 12                    | 95,97    | 298                     |
| Rhodes International Airport, "Diagoras"      | RHO      | 53             | 217                     | 47,54             | 347               | 2                     | 99,09    | 219                     |
| Riga International Airport                    | RIX      | 75             | 600                     | 208,18            | 321               | 23                    | 96,31    | 623                     |
| Platov International Airport                  | ROV      | 13             | 193                     | 5,30              | 447               | 23                    | 89,35    | 216                     |
| Rotterdam The Hague Airport                   | RTM      | 25             | 162                     | 12,56             | 388               | 3                     | 98,18    | 165                     |
| Santiago de Compostela Airport                | SCQ      | 26             | 164                     | 3,28              | 383               | 0                     | 100,00   | 164                     |
| Simferopol International Airport              | SIP      | 8              | 146                     | 0,21              | 499               | 5                     | 96,69    | 151                     |
| Thessaloniki Airport "Makedonia"              | SKG      | 51             | 340                     | 108,96            | 349               | 12                    | 96,59    | 352                     |
| Skopje Airport                                | SKP      | 30             | 104                     | 23,64             | 377               | 10                    | 91,23    | 114                     |
| Shannon Airport                               | SNN      | 15             | 78                      | 0,85              | 402               | 69                    | 53,06    | 147                     |
| Sofia Airport                                 | SOF      | 59             | 367                     | 28,23             | 341               | 35                    | 91,29    | 402                     |
| Southampton Airport                           | SOU      | 22             | 300                     | 3,88              | 395               | 0                     | 100,00   | 300                     |
| La Palma Airport                              | SPC      | 23             | 194                     | 3,95              | 385               | 0                     | 100,00   | 194                     |

| Název letiště                               | IATA kód | k <sub>i</sub> | s <sub>i</sub> - Evropa | C <sub>B(i)</sub> | C <sub>C(i)</sub> | s <sub>i</sub> - svět | Evropa % | s <sub>i</sub> - celkem |
|---|----------|----------------|-------------------------|-------------------|-------------------|-----------------------|----------|-------------------------|
| Split Airport                               | SPU      | 50             | 213                     | 20,96             | 352               | 0                     | 100,00   | 213                     |
| London Stanstead Airport                    | STN      | 112            | 1301                    | 453,87            | 286               | 63                    | 95,38    | 1364                    |
| Stuttgart Airport                           | STR      | 81             | 833                     | 93,04             | 316               | 115                   | 87,87    | 948                     |
| Lamezia Terme International Airport         | SUF      | 28             | 130                     | 7,85              | 384               | 1                     | 99,24    | 131                     |
| Stavanger Airport, Sola                     | SVG      | 25             | 285                     | 9,05              | 380               | 0                     | 100,00   | 285                     |
| Sheremetyevo International Airport          | SVO      | 67             | 1704                    | 415,45            | 330               | 899                   | 65,46    | 2603                    |
| Sevilla Airport                             | SVQ      | 56             | 370                     | 44,47             | 351               | 8                     | 97,88    | 378                     |
| Strasbourg Airport                          | SXB      | 24             | 184                     | 8,01              | 387               | 15                    | 92,46    | 199                     |
| Berlin Schönefeld Airport                   | SXF      | 90             | 696                     | 169,54            | 304               | 63                    | 91,70    | 759                     |
| Salzburg Airport                            | SZG      | 44             | 199                     | 21,27             | 353               | 2                     | 99,00    | 201                     |
| Tenerife Norte Airport                      | TFN      | 16             | 531                     | 1,44              | 416               | 1                     | 99,81    | 532                     |
| Tenerife South Airport                      | TFS      | 95             | 578                     | 269,80            | 301               | 1                     | 99,83    | 579                     |
| Tirana International Airport Nënë Tereza    | TIA      | 25             | 130                     | 6,48              | 381               | 0                     | 100,00   | 130                     |
| Lennart Meri Tallinn Airport                | TLL      | 31             | 267                     | 20,11             | 366               | 0                     | 100,00   | 267                     |
| Toulouse-Blagnac Airport                    | TLS      | 61             | 677                     | 32,10             | 341               | 40                    | 94,42    | 717                     |
| Tromsø Airport, Langnes                     | TOS      | 13             | 111                     | 10,75             | 403               | 0                     | 100,00   | 111                     |
| Vincenzo Florio Airport Trapani–Birgi       | TPS      | 7              | 22                      | 0,42              | 461               | 0                     | 100,00   | 22                      |
| Trondheim Airport, Værnes                   | TRD      | 20             | 284                     | 14,37             | 390               | 0                     | 100,00   | 284                     |
| Sandefjord Airport, Torp                    | TRF      | 24             | 191                     | 8,75              | 384               | 0                     | 100,00   | 191                     |
| Turin Airport                               | TRN      | 39             | 298                     | 39,10             | 359               | 7                     | 97,70    | 305                     |
| Treviso Airport                             | TSF      | 32             | 170                     | 14,83             | 374               | 4                     | 97,70    | 174                     |
| Timișoara Traian Vuia International Airport | TSR      | 22             | 133                     | 4,54              | 394               | 3                     | 97,79    | 136                     |
| Berlin Tegel Airport                        | TXL      | 73             | 1066                    | 116,67            | 323               | 52                    | 95,35    | 1118                    |
| Ufa International Airport                   | UFA      | 11             | 149                     | 1,77              | 449               | 43                    | 77,60    | 192                     |
| Umeå Airport                                | UME      | 4              | 72                      | 0,30              | 481               | 0                     | 100,00   | 72                      |
| Varna Airport                               | VAR      | 20             | 55                      | 4,55              | 393               | 3                     | 94,83    | 58                      |
| Venice Marco Polo Airport                   | VCE      | 68             | 605                     | 71,97             | 328               | 81                    | 88,19    | 686                     |
| Vienna International Airport                | VIE      | 106            | 1423                    | 279,02            | 290               | 232                   | 85,98    | 1655                    |

| Název letiště                                       | IATA kód | $k_i$ | $s_i$ - Evropa | $C_{B(i)}$ | $C_{C(i)}$ | $s_i$ - svět | Evropa % | $s_i$ - celkem |
|---|----------|-------|----------------|------------|------------|--------------|----------|----------------|
| Vnukovo International Airport                       | VKO      | 31    | 591            | 118,58     | 383        | 294          | 66,78    | 885            |
| Valencia Airport                                    | VLC      | 66    | 509            | 74,99      | 332        | 16           | 96,95    | 525            |
| Vilnius Airport                                     | VNO      | 53    | 340            | 51,47      | 344        | 12           | 96,59    | 352            |
| Verona Villafranca Airport                          | VRN      | 37    | 186            | 18,89      | 364        | 15           | 92,54    | 201            |
| Warsaw Chopin Airport                               | WAW      | 85    | 1157           | 188,23     | 310        | 96           | 92,34    | 1253           |
| Warsaw Modlin Airport                               | WMI      | 40    | 167            | 21,90      | 366        | 4            | 97,66    | 171            |
| Wrocław–Copernicus Airport                          | WRO      | 44    | 202            | 36,41      | 362        | 7            | 96,65    | 209            |
| Franjo Tuđman Airport                               | ZAG      | 30    | 290            | 3,07       | 367        | 34           | 89,51    | 324            |
| Zürich Airport                                      | ZRH      | 102   | 1536           | 190,12     | 294        | 365          | 80,80    | 1901           |
| Zakynthos International Airport "Dionysios Solomos" | ZTH      | 22    | 73             | 3,20       | 394        | 0            | 100,00   | 73             |

*Zdroj: FlightConnections 2018, vlastní výpočty*